

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. September 2003 (12.09.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/075098 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G03F 7/20**,
B08B 7/00

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WEDOWSKI, Marco**
[DE/DE]; Otto-Schott-Str. 15, 73431 Aalen (DE). **STI-
ETZ, Frank** [DE/DE]; Isaah-Hess-Weg 4/1, 73466 Lauch-
heim (DE). **MERTENS, Bas** [NL/NL]; Snelliusstraat 90,
NL-2517 RK Den Haag (NL). **KLEIN, Roman** [DE/DE];
Feuerbachstr. 18, 12163 Berlin (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/02372

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. März 2003 (07.03.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(74) Anwälte: **FUCHS, Jürgen, H.** usw.; Söhnleinstr. 8, 65201
Wiesbaden (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

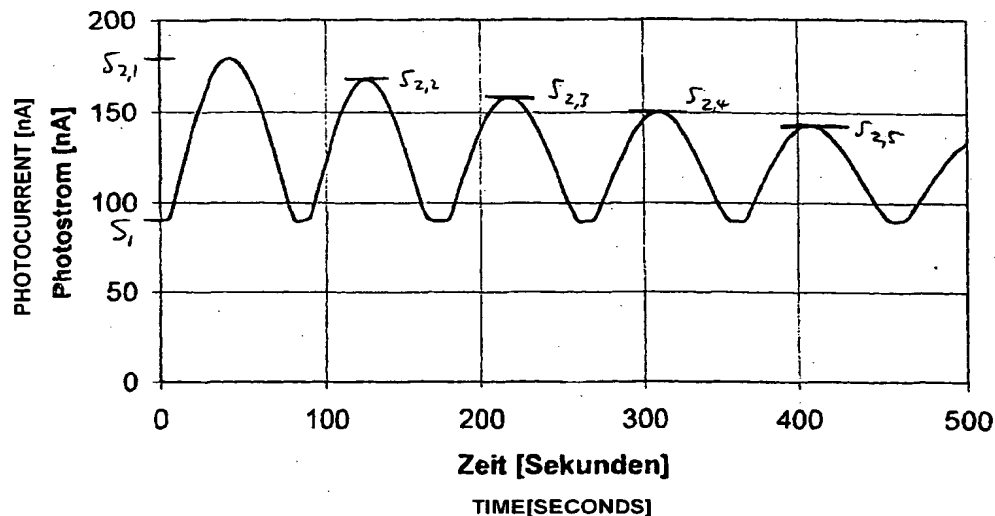
(30) Angaben zur Priorität:
102 09 493.4 7. März 2002 (07.03.2002) DE

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GI,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE, EUV-LITHOGRAPHIC DEVICE AND METHOD FOR PREVENTING AND CLEANING CONTAMINA-
TION ON OPTICAL ELEMENTS

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG, EUV-LITHOGRAPHIEGERÄT UND VERFAHREN ZUR VERMEIDUNG UND REINI-
GUNG VON KONTAMINATION AUF OPTISCHEN ELEMENTEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for preventing contamination on the surfaces of optical elements comprising a multi-layer system, during the exposure thereof to radiation at signal wave lengths in an evacuated closed system comprising a residual gas atmosphere, whereby the photocurrent generated by means of photo emission from the radiated surface of the multi-layer system is measured. The photocurrent is used to regulate the gas composition of the residual gas. The gas composition is altered according to at least one lower and one upper threshold value of the photocurrent. The invention also relates to a device for regulating the contamination on the surface of at least one optical element during exposure and an EUV-lithographic device and a method for cleaning the surfaces of the optical elements contaminated by carbon.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/075098 A2



SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Vermeidung von Kontamination auf Oberflächen optischer, ein Vielschichtsystem aufweisender Elemente während ihrer Bestrahlung mit EUV-Strahlung bei Betriebswellenlängen in einem evakuierten, eine Restgasatmosphäre aufweisenden geschlossenen System beschrieben, bei dem der durch Photoemission aus der bestrahlten Oberfläche des Vielschichtsystems erzeugte Photostrom gemessen wird. Der Photostrom wird zur Regelung der Gaszusammensetzung des Restgases eingesetzt, wobei die Gaszusammensetzung in Abhängigkeit von mindestens einem unteren und einem oberen Schwellenwert des Photostroms verändert wird. Es wird auch eine Vorrichtung zur Regelung der Kontamination auf der Oberfläche mindestens eines optischen Elementes während der Bestrahlung sowie eine EUV-Lithographievorrichtung und ein Verfahren zur Reinigung von mit Kohlenstoff kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen beschrieben.

Vorrichtung, EUV-Lithographiegerät und Verfahren zur Vermeidung und Reinigung von Kontamination auf optischen Elementen

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vermeidung der Kontamination auf Oberflächen optischer Elemente gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Regelung der Kontamination der Oberfläche mindestens eines optischen Elementes sowie ein EUV-Lithographiegerät mit optischen Elementen, wobei in der Nähe mindestens eines der optischen Elemente eine Detektiereinrichtung für Photo- und Sekundärelektronen angebracht ist, die mit einer Auswerteeinheit wirkverbunden ist.

Ferner betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur Reinigung von kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen durch Bestrahlung in kontrolliert restgashaltigem Vakuum.

Unter Vielschichtsystemen werden auch solche mit spezieller/en Deckschicht/en (caplayer) verstanden.

Hierbei werden unter der elektrischen Feldintensität das zeitlich gemittelte Quadrat der elektrischen Feldstärke, unter Photostrom der aufgrund von Einstrahlung auftretende photoinduzierte elektrische Strom, unter Photoemission die aufgrund von Einstrahlung auftretende photoinduzierte Auslösung von Elektronen ins Vakuum, unter Photoelektronen die aufgrund von Einstrahlung photoinduziert in das Vakuum losgelösten Elektronen und unter Sekundärelektronen über Sekundärprozesse abgebremsten Elektronen verstanden.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Optische Elemente, wie z.B. Photomasken oder Viellagenspiegel, für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich (EUV), insbesondere Wellenlängen zwischen 11 nm und 14 nm, werden zum Einsatz in der EUV-Lithographie von Halbleiterbauelementen benötigt. Typische EUV-Lithographiegeräte weisen acht oder mehr Spiegel auf. Um dennoch eine hinreichende Gesamtintensität der Arbeitsstrahlung zu erreichen, müssen die Spiegel möglichst hohe Reflektivitäten aufweisen, denn die Gesamtintensität ist proportional zum Produkt der Reflektivitäten der einzelnen Spiegel. Diese hohe Reflektivität sollten die Spiegel möglichst während ihrer gesamten Lebensdauer beibehalten. Weiterhin muss die Homogenität über die Spiegeloberflächen über die gesamte Lebensdauer erhalten bleiben.

Die Reflektivität und die Lebensdauer von EUV-Spiegeln und EUV-Photomasken wird besonders durch die Kontamination der Oberfläche unter EUV-Bestrahlung in Form der Ablagerung von Kohlenstoff und durch Oxidation der Oberfläche beeinträchtigt. Ablagerungen rühren z.B. von kohlenstoffhaltigen Stoffen her, die aus einzelnen Vorrichtungskomponenten oder aus dem Photoresist, mit dem die zu bestrahlenden Wafer beschichtet sind, ausgasen. Oxidation wird durch in der Restgasatmosphäre vorhandene sauerstoffhaltige Moleküle verursacht, die durch die EUV-Strahlung vermittelt Photoemission in Radikale aufgespalten werden. Aus der Oberfläche des optischen Elements austretende Photoelektronen führen zur Akkumulation von Kontamination, indem sie auf der Oberfläche in einem dynamischen Gleichgewicht adsorbierte Moleküle des Restgases in Bruchstücke aufspalten, die sich anschließend permanent auf der Oberfläche ablagern oder mit ihr reagieren.

In der Restgasatmosphäre dominieren typischerweise Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid. In der Regel liegen die Partialdrücke in mbar innerhalb folgender Bereiche:

	Typischer Bereich für Ultra- Hoch-Vakuum- systeme [mbar]	Typisches ausgeheiztes Vakuum [mbar]	Typisches nicht ausgeheiztes Vakuum [mbar]
C _x H _y	10 ⁻¹² - 10 ⁻⁸	10 ⁻¹²	10 ⁻⁸
CO	10 ⁻¹² - 10 ⁻⁸	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹
CO ₂	10 ⁻¹² - 10 ⁻⁸	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹
H ₂	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁷	10 ⁻¹¹	10 ⁻⁸
H ₂ O	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁶	10 ⁻¹¹	10 ⁻⁷
N ₂	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁷	10 ⁻¹¹	10 ⁻⁷
O ₂	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁷	10 ⁻¹¹	10 ⁻⁸

Entsprechend den Partialdruckverhältnissen und der einfallenden EUV-Intensität überwiegt der Prozess der Oberflächenoxidation oder der Prozess der Ablagerungen von Kohlenstoff auf der Oberfläche. Man spricht daher entweder von einer oxidierenden oder einer karbonisierenden Umgebung.

Aus der DE 41 06 841 A1 ist ein Verfahren zum Bestimmen von Kontaminationen mittels Photoemission bekannt, bei dem durch sequentielles Beleuchten einer Oberfläche Photoelektronen freigesetzt und mit einer Elektronenauffangeinrichtung erfasst werden. Aus dem Photoelektronenstrom wird auf die Dicke der Kontaminationsschicht geschlossen. Um kapazitive Stromeffekte zu kompensieren, ist eine zweite Elektronenauffangeinrichtung vorgesehen, die an die erste Elektronenauffangeinrichtung angrenzt und von der Oberfläche den gleichen Abstand aufweist. Die von beiden Elektronenauffangeinrichtungen erfassten Ströme werden voneinander subtrahiert. Ferner sind Maßnahmen vorgesehen, um photovoltaische Stromeffekte zu kompensieren.

Die US 6,004,180 befasst sich mit der Reinigung von Elektronen emittierenden Komponenten, die die Kathode der Kathodenstrahlröhre bilden. Hierbei wird durch Einleitung eines Gases, wie z.B. Sauerstoff,

erreicht, dass die Ablagerungen auf der Kathode in gasförmige Produkte umgewandelt werden. Eine gezielte Steuerung des Gaseinlasses wird nicht beschrieben.

Aus der JP 62051224 A ist es bekannt, das Reinigen mit UV-Licht-gestützter Oxidation über das Messen von Photoelektronen zu verfolgen. Mit kohlenstoffhaltigen Substanzen verschmutzte Oberflächen werden in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre mit UV-Licht bestrahlt. Unter dem UV-Einfluß bildet sich Ozon, das seinerseits in Sauerstoffradikale aufgespalten wird, die die Kohlenstoffkontamination der zu reinigenden Oberfläche wegätzen. Das UV-Licht regt außerdem die Emission von Sekundärelektronen an. Deren Anzahl steigt mit abnehmender Kontaminationsschichtdicke an. Die Intensität der Photoemission wird angezeigt. Dieses Signal wird aber nicht zur Steuerung eines Reinigungsprozesses ausgenutzt.

Die EP 0 987 601 A2 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Kontaminationsgrades optischer Elemente innerhalb eines Lithographiegerätes für weiche Röntgenstrahlung. Dazu werden die aus der potentiell kontaminierten Oberfläche austretenden Photoelektronen gemessen. Dieses Signal wird online ausgewertet, indem es durch Vergleich mit empirisch gewonnenen Daten in einen Kontaminationsgrad umgerechnet wird. Wird ein bestimmter Kontaminationsgrad erreicht, muss das betreffende optische Element ausgewechselt werden.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung bereitzustellen, mit dem die Kontamination der mit EUV-Licht bestrahlten Oberfläche eines optischen Elements verhindert wird, bevor diese zur vollständigen Unbrauchbarkeit des optischen Elements führt. Es ist auch Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Reinigung einer kontaminierten Oberfläche bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren gelöst, bei dem der Photostrom zur Regelung der Gaszusammensetzung des Restgases eingesetzt wird, wobei die Gaszusammensetzung des Restgases in

Abhängigkeit von mindestens einem unteren und einem oberen Schwellenwert des Photostroms verändert wird.

Über die Restgasanalyse mit einem Restgasanalysator (z. B. Massenspektrometer) kann zusätzlich experimentell ermittelt werden (Kalibrierung), ob es sich um eine karbonisierende oder eine oxidierende Umgebung handelt, die wiederum die Art und den Grad der Kontamination bestimmt. Bei dieser Analyse ist die einfallende EUV-Intensität und das Spektrum der einfallenden Strahlung zu berücksichtigen.

Es hat sich herausgestellt, dass der Zusammenhang zwischen dem Photostrom und der Kontamination der Oberfläche von optischen Elementen zur aktiven Steuerung und zum Abbau der Kontamination auf optischen Elementen eingesetzt werden kann.

Durch die Zugabe oder Reduktion der Zugabe von entsprechenden Gasen in das geschlossene System, in dem sich die optischen Elemente befinden, kann eine oxidierende Atmosphäre in eine karbonisierende Atmosphäre und umgekehrt umgewandelt werden.

Die aus der Restgasatmosphäre auf jeglichen Oberflächen adsorbierten Restgasbestandteile (z.B. Kohlenwasserstoffe) werden im Bereich EUV-bestrahlter Oberflächen durch die Photoelektronen aufgespalten, so dass sich eine Kohlenstoffschicht auf der Oberfläche optischer Elemente abscheidet, die zu einer Veränderung des Photostroms führt. Ein dazu konkurrierender Vorgang ist die Oxidation des Kohlenstoffs zu CO und CO₂, wodurch die Kohlenstoffschicht wieder entfernt werden kann, was zu einer entgegengesetzten Veränderung des Photostroms führt.

Wenn die Veränderung der bestrahlten Oberfläche nicht nur beobachtet, sondern durch Veränderungen der Restgasatmosphäre sofort auf die weitere Änderung des Kontaminationsgrades der Oberfläche Einfluss genommen wird, kann somit auf einfache Weise die Kontaminationsrate und auch der Abbau der Kontaminationsschicht gesteuert werden.

Während der erste Schwellenwert S_1 zu Beginn der Bestrahlung nach dem Abklingen von Einschwingeffekten gewonnen wird und charakteristisch für den anfänglichen Ist-Zustand der bestrahlten Oberfläche ist, werden der oder die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ vorgegeben und hängen nicht nur vom Aufbau des reflektierenden Schichtsystems, d.h. dessen Material und Dickenaufbaus, sondern stark von der anfänglichen Zusammensetzung der Restgasatmosphäre sowie der EUV-Intensität ab. Unter dem Abklingen von Einschwingeffekten wird insbesondere die Desorption der typischerweise vorhandenen Wasserschicht auf der Oberfläche des optischen Elements verstanden, die zu Beginn der Bestrahlung zu einem hohen Photostrom führt, der mit Abnahme der Wasserschicht entsprechend zurückgeht. Dieser Vorgang dauert einige Minuten, wobei ein Zeitraum von bis zu 20 min, vorzugsweise von bis zu 5 min, benötigt wird, bis sich der Photostrom stabilisiert hat.

Der oder die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ müssen zuvor aus Kalibrationsmessungen gewonnen werden. Dabei sind auch die Anforderungen der Bestrahlungsanwendung zu berücksichtigen, z.B. dass bei der Lithographie die Kontamination und damit die Reflektivität nur innerhalb bestimmter Grenzen schwanken sollte.

Die Schwellen S_1 und $S_{2,i}$ werden vorzugsweise aus dem Photostrom einer sauberen, nicht oxidierten Oberfläche unter Betriebsbedingungen, d.h. nach dem Abklingen von Einschwingeffekten, bestimmt. Hierbei entspricht S_1 dem Photostrom der sauberen Oberfläche und $S_{2,i}$ entspricht dem Photostrom, der einer gewünschten Kohlenstoffdicke entspricht.

Bei der Auswertung der Photoemissionsmessung kann unter Umständen das zeitlich exponentielle Abklingen des entsprechenden Stromsignals eine Rolle spielen, wenn die Zeitkonstante des Abfalls geringer als die Periodendauer T der Strahlungsquelle ist. Synchrotronstrahlung hat Pulsfrequenzen im oberen Megahertzbereich, so dass sich aufgrund der zeitlichen Trägheit der Photostrommessung ein konstanter Strom messen lässt. Gepulste Laser haben dagegen Frequenzen im unteren Kilohertzbereich, so dass mit der Zeitkonstante

des Photoemissionsprozesses ein sägezahnförmiger Strom gemessen wird. Um den Einfluss der Periodendauer der Strahlungsquelle zu umgehen, wird vorzugsweise das Photoemissionssignal in das gemittelte Zeitintegral \bar{I} des entsprechenden Photostromes umgerechnet:

$$\bar{I}_{\text{strom}} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{I_{\text{strom}}(t) dt}{T_2 - T_1} \quad \text{mit } T_2 - T_1 \gg T$$

T: Periodendauer

Zusätzlich ist es von Vorteil, wenn das zeitlich gemittelte Stromintegral für jede einzelne bestrahlte optische Fläche auf die einfallende Strahlungsintensität normiert wird:

$$\bar{I}_{\text{norm}} = \bar{I}_{\text{strom}} / \bar{I}_{\text{strahlung}} \quad \text{mit} \quad \bar{I}_{\text{strahlung}} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{I_{\text{strahlung}}(t) dt}{T_2 - T_1}$$

mit $T_2 - T_1 \gg T$

T: Periodendauer

i = 1, 2, ..., n. n: Anzahl der bestrahlten optischen Flächen.

Wenn von Photostrom gesprochen wird, ist vorzugsweise \bar{I}_{norm} gemeint.

In karbonisierender Umgebung wird der Photostrom vorzugsweise zur Regelung des Sauerstoffpartialdruckes oder des Partialdruckes sauerstoffhaltiger Gase eingesetzt.

In oxidierender Umgebung wird der Photostrom vorzugsweise zur Regelung des Partialdruckes kohlenwasserstoffhaltiger Gase eingesetzt.

Vorzugsweise werden die Schwellenwerte des Photostroms aus dem Bereich zwischen dem minimalen Photostrom I_{min} und dem maximalen Photostrom I_{max} gewählt, die dann auftreten, wenn das Minimum und das Maximum der elektrischen Feldintensität der sich bei Reflexion der eingestrahlten Betriebswellenlänge im Vielschichtsystem ausbildenden stehenden Welle in der freien Grenzfläche des Vielschichtsystems liegen. Hierbei ist darauf zu achten, dass sich die freie Grenzfläche des

Vielschichtsystems entweder nur im Bereich der abfallenden Flanke oder der ansteigenden Flanke der stehenden Welle der elektrischen Feldintensität bewegt. Wenn die freie Grenzfläche während der Bestrahlung die Extremwerte der stehenden Welle durchlaufen würde, könnte keine sinnvolle Regelung der Restgaszusammensetzung gewährleistet werden. Ob sich die freie Grenzfläche zu Beginn der Bestrahlung in der fallenden oder der ansteigenden Flanke befindet, wird durch das Design des Vielschichtsystems bestimmt. Besonders bevorzugt wird bei einem Vielschichtsystem mit einer Ru-Deckschicht dessen Design so gewählt, dass sich die freie Grenzfläche der Deckschicht beim Aufwachsen von Kohlenstoff in der fallenden Flanke der stehenden Welle der elektrischen Feldintensität befindet.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden folgende Schritte durchgeführt:

- a) Messen eines ersten Wertes des Photostroms zu Beginn der EUV-Bestrahlung nach dem Abklingen von Einschwingeffekten und Speichern dieses Wertes als ersten Schwellenwert S_1 ;
- b) Vorgabe mindestens eines zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ für den Photostrom mit $i = 1, 2, 3, \dots$, wobei $S_1 > S_{2,i}$ oder $S_1 < S_{2,i}$ ist;
- c) Messen des Photostroms während der laufenden EUV-Bestrahlung;
- d) Regulieren der Gaszusammensetzung während der Bestrahlung in Abhängigkeit vom gemessenen Photostrom, indem vor oder bei Erreichen oder Überschreiten des zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ dem geschlossenen System mindestens ein Gas zugeführt wird und anschließend, vor oder bei Erreichen oder Überschreiten des ersten Schwellenwertes S_1 die Zufuhr des Gases zumindest gedrosselt wird.

Das zugeführte Gas ist in diesem Fall vorzugsweise ein oxidierendes Gas. Wenn $S_1 > S_{2,i}$ gewählt wird, befindet sich die freie Grenzfläche in der abfallenden Flanke der stehenden Welle der elektrischen

Feldintensität. Wenn $S_1 < S_{2i}$ gewählt wird, befindet sich die freie Grenzfläche in der ansteigenden Flanke.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden folgende Schritte durchgeführt:

- a) Messen eines ersten Wertes des Photostroms zu Beginn der EUV-Bestrahlung nach dem Abklingen von Einschwingeffekten und Speichern dieses Wertes als ersten Schwellenwert S_1 ;
- b) Vorgabe mindestens eines zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ für den Photostrom mit $i = 1, 2, 3, \dots$, wobei $S_1 > S_{2,i}$ oder $S_1 < S_{2,i}$ ist;
- c) Messen des Photostroms während der laufenden EUV-Bestrahlung;
- d) Regulieren der Gaszusammensetzung während der Bestrahlung in Abhängigkeit vom gemessenen Photostrom, indem vor oder bei Erreichen oder bei Überschreitung des ersten Schwellenwertes S_1 dem geschlossenen System mindestens ein Gas zugeführt wird und anschließend vor oder bei Erreichen oder Überschreitung des zweiten Schwellenwertes $S_{2,1}$ die Zufuhr dieses Gases zumindest gedrosselt wird.

Das zugeführte Gas ist in diesem Fall vorzugsweise ein karbonisierendes Gas. Wenn $S_1 > S_{2i}$ gewählt wird, befindet sich die freie Grenzfläche in der abfallenden Flanke der stehenden Welle der elektrischen Feldintensität. Wenn $S_1 < S_{2i}$ gewählt wird, befindet sich die freie Grenzfläche in der ansteigenden Flanke.

Beide vorgenannten Verfahrensvarianten können auch miteinander kombiniert werden, wobei die betreffenden Gase in Abhängigkeit der Schwellenwerte im Wechsel zugeführt und gedrosselt werden.

Diese Verfahren können zu einer abklingenden Photostromkurve oder zu einer oszillierenden Photostromkurve führen, was nachfolgend noch beschrieben wird.

Welches Gas in welcher Menge geregelt zugeführt wird, hängt zum einen von der Restgaszusammensetzung, andererseits von der Art und Stärke einer bereits vorliegenden Kontamination und weiterhin vom gemessenen Photoemissionssignal ab.

Es kann sich dabei um ein Gas handeln, das bereits in der Restgasatmosphäre enthalten ist, dessen Anteil aber zu gering ist, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Bei den möglichen Effekten handelt es sich entweder um die Verhinderung von Oxidation oder die definierte Einstellung der gewünschten Kohlenstoffbelegung.

Die Veränderung des Verhältnisses der Restgasbestandteile kann durch Zugabe von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff, Wasser, Sauerstoff oder Stickstoff erfolgen.

Es kann aber auch ein Gas zugegeben werden, das vorher noch nicht in der Restgasatmosphäre vorhanden war.

Bevorzugt ist die Zugabe eines Inertgases wie von SF₆, He, Ne, Ar, Kr, Xe. Solche Gase beeinflussen die Wirksamkeit bzw. die Reaktionsgeschwindigkeit karbonisierender bzw. oxidierender Gase.

Um eine oxidierende Restgasumgebung in eine Karbonisierende zu überführen, ist die Zugabe von Kohlenwasserstoffen vorgesehen, vorzugsweise von Alkanen, Alkenen, Alkinen, Alkoholen, Ketonen, Aldehyden und anderen Kohlenwasserstoffen.

Zur Feineinstellung des Gleichgewichts für den Grenzfall zwischen karbonisierender und oxidierender Umgebung ist die Zugabe sauerstoffhaltiger Gase vorgesehen, vorzugsweise von Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure, Wasserstoffperoxid, Hydrazin, N₂O, NO, NO₂, SO₂ und anderer sauerstoffhaltiger Gase.

Zum aggressiven Abtrag starker Kohlenstoffbelegung ist die kurzzeitige Anwendung halogen- und wasserstoffhaltiger Verbindungen vorgesehen, vorzugsweise von F, Cl, Br, I, Chlormethan,

Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlorkohlenstoff, Tetrafluorkohlenstoff, Fluormethan, Difluormethan, Ammoniak, Phosphin, Antimonwasserstoff, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff, Jodwasserstoff, Borfluorid, Diboran, Stickstofftrifluorid, Schwefelwasserstoff, Selenwasserstoff, Tellurwasserstoff und anderer halogen-/wasserstoffhaltiger Gase, oder einer Kombination aus zwei oder mehr dieser Gase.

Die Zufuhr der Gase kann vorzugsweise stufenlos erfolgen. So können die Ventile der Gaszuführung kontinuierlich geöffnet und bei Annäherung des Photostroms an einen Schwellenwert auch wieder kontinuierlich geschlossen werden.

Zur Prozessunterstützung werden die Partialdrücke obiger Gase über den Photostrom geregelt. Vorzugsweise wird der Photostrom zur Regelung des Partialdrucks sauerstoffhaltiger Gase eingesetzt.

Indem die Zusammensetzung der Restgasatmosphäre durch die Veränderung des Sauerstoffpartialdrucks modifiziert wird, wird entweder der Oxidationsprozess oder der Ablagerungsprozess von Kohlenstoff bevorzugt. Der Sauerstoffpartialdruck wird durch die Zugabe entweder von Sauerstoff oder sauerstoffhaltigen Gasen verändert. Durch die Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks wird das Gleichgewicht zur Oxidation hin verändert, die die kohlenstoffhaltigen Ablagerungen abbaut. Da die Anzahl der austretenden Sekundärelektronen sehr empfindlich auf die Verschiebung der freien Grenzfläche reagiert, kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren schon auf Kontaminationsschichten im Angström- bis Nanometerbereich reagiert werden und die Kontamination während der Bestrahlung effizient minimal gehalten werden.

Der Sauerstoffpartialdruck wird vorzugsweise im Bereich von 10^{-12} - 10^2 mbar besonders bevorzugt im Bereich von 10^{-9} - 10^3 mbar, insbesondere im Bereich von 10^{-8} bis 10^{-5} mbar geregelt.

Bei den Schwellenwerten handelt es sich im einfachsten Fall um Maximalwerte des Photostroms, die einem gerade noch tolerierbaren

Grad an Oxidation entsprechen. Wird ein Maximalwert überschritten, so muss die Restgaszusammensetzung so geändert werden, dass jegliche weitere Oxidation sofort unterbunden wird.

Ein weiteres Beispiel für Schwellenwerte sind Minimalwerte des Photostroms, die einer gerade noch tolerierbaren Bedeckung mit Kohlenstoff entsprechen. Wird ein Minimalwert unterschritten, so muss die Restgaszusammensetzung so geändert werden, dass jegliche weitere Ablagerung von Kohlenstoff sofort unterbunden wird.

Als sinnvolle Schwellenwerte sind aber auch Zwischenwerte denkbar, die sich ergeben, wenn man den anfänglichen Verlauf der elektrischen Feldintensität an der freien Grenzfläche berücksichtigt. Weiterhin ist es sinnvoll, den zeitlichen Verlauf der Photostromkurve in deren mathematische 1. und höhere Ableitungen umzurechnen. Gemäß der gewünschten Betriebsbedingungen können dann auch in bezug auf diese Ableitungen der Photostromkurve Schwellenwerte eingeführt werden.

Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn man die Gaszufuhr unmittelbar vor einem Maximum oder Minimum der Intensität der Photoemission an- oder abschalten will, da sich die entsprechende Steigungsänderung genauer ermitteln lässt als das bevorstehende Durchlaufen eines Extremums. Beispielsweise lässt sich dadurch wirkungsvoll das ungewollte Oxidieren der Spiegeloberfläche selbst verhindern, d.h. nach dem Entfernen der Kohlenstoffkontamination.

Denkbar wäre auch die Überwachung der zweiten oder einer höheren Ableitung oder einer anderen Funktion der Intensität der Photoelektronen, z.B. Integration.

Um ein Konvergieren auf einen Gleichgewichtszustand zu erreichen, bei dem sich insbesondere Oxidation und Ablagerung von kohlenstoffhaltigen Stoffen in ihrer Wirkung aufheben, der Kontaminationsgrad also bei einem möglichst geringen Wert konstant bleibt, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ auf den ersten Schwellenwert S_1 zulaufen zu lassen.

Vorzugsweise werden mehrere zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ vorgegeben, wobei $|S_{2,i+1}-S_1| \leq |S_{2,i}-S_1|$ oder $|S_{2,i+1}-S_{2,i}| \leq |S_{2,i}-S_{2,i-1}|$ mit $i = 1, 2, 3, \dots$

Das Verfahren kann weiter verbessert werden, wenn vor der EUV-Bestrahlung die Lage des nächstgelegenen Minimums und /oder Wendepunktes und/oder des Maximums (Kurvenlage) der elektrischen Feldintensität der sich bei Reflexion der eingestrahnten Betriebswellenlänge im Vielschichtsystem ausbildenden stehenden Welle bezüglich der freien Grenzfläche des Vielschichtsystems bestimmt wird, und in Abhängigkeit davon der zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ bezüglich des ersten Schwellenwertes S_1 entsprechend als unterer oder als oberer Schwellenwert festgelegt wird.

Es hat sich gezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen der elektrischen Feldintensität der sich je nach Vielschichtdesign einstellenden stehenden Welle an der freien Grenzfläche des optischen Elements und der Kontamination dieser freien Grenzfläche gibt. Es hat sich auch gezeigt, dass dann, wenn die elektrische Feldintensität der sich einstellenden stehenden Welle an der freien Grenzfläche minimal ist, die Emission der aus der Grenzflächenschicht austretenden Photoelektronen ebenfalls minimal ist. Wenn die elektrische Feldintensität an der freien Grenzfläche hingegen maximal ist, ist auch der Photostrom maximal.

Bei geringer oder keiner Photoemission wird die Aufspaltung der auf den Oberflächen aus dem Restgas in einem dynamischen Gleichgewicht angelagerten Restgasmoleküle, wie Kohlenwasserstoff- oder Wassermoleküle, weitgehend unterbunden, was ansonsten eine Kontamination der freien Grenzfläche bewirken könnte. In sauerstoffhaltiger Restgasatmosphäre kann vermittelt Photostromregelkreis das dynamische Gleichgewicht in der Art verschoben werden, dass trotz Photoemission weder Oxidation noch Akkumulation von Kohlenstoff auftritt.

Die Kurvenlage des nicht kontaminierten Vielschichtsystems bestimmt den anfänglichen Verlauf der Photostromkurve während des Betriebs,

d.h. während der Kontamination der Oberfläche des optischen Elementes. Das Aufwachsen einer Kohlenstoffschicht bewirkt zum einen eine Veränderung der Kurvenlage, zum anderen bewirkt die Anlagerung des Materials Kohlenstoff, dass die Photokonversionseffizienz zurückgeht. Die Überlagerung beider Effekte führt entweder zu einer mehr oder weniger starken Zu- oder Abnahme des Photostroms.

Dementsprechend sind die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ als untere oder als obere Schwellenwerte zu wählen.

Vorzugsweise wird der obere Schwellenwert $S_{2,i}$ kleiner oder gleich dem maximalen Photostrom \bar{I}_{\max} gewählt, bei dem die freie Grenzfläche im Maximum der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle liegt.

Der untere Schwellenwert $S_{2,i}$ wird vorzugsweise größer oder gleich dem minimalen Photostrom \bar{I}_{\min} gewählt, bei dem die freie Grenzfläche im Minimum der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle liegt. Vorzugsweise werden die Schwellenwerte $S_{2,i}$ auf 80% bis 10% des Bereichs $\bar{I}_{\max} - \bar{I}_{\min}$ eingestellt, besonders bevorzugt auf 50% - 20%.

Bei oxidationsempfindlichen Oberflächen muss eine Oxidation der Oberfläche vermieden werden, die in oxidierender Umgebung nicht zu verhindern ist. Es wird daher vorzugsweise vor der EUV-Bestrahlung eine karbonisierende Gaszusammensetzung eingestellt, die zu einer Kohlenstoffablagerung führt, die aber dank kontrollierter Restgaseinstellung (z.B. durch Zugabe mindestens eines sauerstoffhaltigen Gases) wieder abgebaut werden kann. Auch kann jeweils vor Erreichen des ersten Schwellenwertes S_1 wieder zur karbonisierenden Umgebung zurückgekehrt werden (z.B. durch Zugabe mindestens eines kohlenstoffhaltigen Gases).

Im Hinblick auf eine schnelle Reaktion an der bestrahlten Oberfläche auf die sich ändernde Restgaszusammensetzung wird vorteilhafterweise das Gas möglichst in Oberflächennähe, d.h. in der Nähe des optischen Elementes, zugeführt.

Außerdem wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Regelung der Kontamination auf der Oberfläche mindestens eines optischen Elements mit einer Detektiereinrichtung für von dem optischen Element emittierten Photoelektronen, mit einer an die Detektiereinrichtung angeschlossenen Auswerteeinheit und mit einer Steuereinrichtung gelöst, die an die Auswerteeinheit und an eine Gaszuführungseinrichtung angeschlossen ist, wobei die Auswerteeinheit zum Vergleichen des gemessenen Photostroms mit mindestens zwei gespeicherten Schwellenwerten des Photostroms sowie zum Abgeben von schwellenwertabhängigen Signalen an die Steuereinrichtung ausgebildet ist.

Eine erfindungsgemäße EUV-Lithographievorrichtung mit optischen Elementen, wobei in der Nähe mindestens eines der optischen Elemente eine Detektiereinrichtung für Photoelektronen angebracht ist, die mit einer Auswerteeinheit wirkverbunden ist, ist dadurch gekennzeichnet, dass an der Auswerteeinheit eine Steuereinheit angeschlossen ist, die mit mindestens einer Gaszuführeinrichtung wirkverbunden ist, wobei die Auswerteeinheit zum Vergleichen des gemessenen Photostroms mit mindestens zwei gespeicherten Schwellenwerten des Photostroms sowie zum Abgeben von schwellenwertabhängigen Signalen an die Steuereinrichtung ausgebildet ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. ihre Ausprägung als EUV-Lithographiegerät sind für die Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Mit der Detektiereinrichtung wird die Photoemissionsmessung vorgenommen. Diese Daten werden in der Auswerteeinheit vorzugsweise in deren zeitlichen Verlauf (oder deren Ableitungen, Integrale oder andere geeignete Funktionen) umgerechnet und mit Schwellenwerten verglichen. Die daraus resultierende Information wird an die Steuereinheit weitergegeben, die daraufhin die Gaszuführeinrichtung steuert.

Vorzugsweise umfasst die Detektiereinrichtung einen über der Oberfläche des optischen Elementes angeordneten Nachweisring oder ein Nachweisnetz, das derart angeordnet und/oder ausgebildet ist, dass

es die einfallende EUV-Strahlung nicht oder nur gering beeinträchtigt. Der Photostrom kann aber auch über jegliche in der Nähe befindliche Metalloberfläche abgeführt werden. Dies kann eine Platte oder auch die Vakuumkammerwand sein.

Der offene Durchmesser der Detektiereinrichtung kann beispielsweise so groß gewählt werden, dass die EUV-Strahlung ungehindert hindurchtreten kann, andererseits aber die Photoelektronen noch zuverlässig gemessen werden können.

Die Gaszuführeinrichtung weist vorzugsweise mindestens eine Gaszuleitung auf, die vorteilhafterweise benachbart zur Oberfläche des optischen Elementes angeordnet ist. Durch eine benachbarte Anordnung wird die Reaktionszeit, bis das zugeführte Gas wirkt, deutlich verkürzt.

In bevorzugten Ausführungsformen weisen die Vorrichtung und das EUV-Lithographiegerät ein Massenspektrometer auf, das seine Messsignale ebenfalls an die Auswerteeinheit weitergibt. Dieses Massenspektrometer dient dazu, vor oder zu Beginn der Bestrahlung die Restgaszusammensetzung zu messen bzw. während der Bestrahlung parallel zur Messung der Photoemission die Gaszusammensetzung bzw. deren Partialdrücke zu messen.

Weiterhin ist mindestens eine Messeinrichtung für den Gesamtdruck vorgesehen.

Vorteilhafterweise sind die Auswerte- und die Steuereinheit zu einer Regeleinheit zusammengefasst. Diese kann als analoge oder digitale Schaltung, auch in Form eines integrierten Schaltkreises ausgebildet sein. Es kann auch ein mit entsprechenden Datennahme- und Steuerkarten ausgerüsteter Rechner sein.

Um den Photostrom zu normieren sind vorzugsweise noch eine oder mehrere (z.B. an jedem Spiegel) Einrichtungen zur Messung der EUV-Intensität vorgesehen.

Ferner wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Reinigung von mit Kohlenstoff kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen durch Bestrahlung mit EUV-Strahlung gelöst, das sich dadurch auszeichnet, dass während der Bestrahlung der zu reinigenden Oberfläche erzeugte Photostrom gemessen wird und als Stopppunkt des Einlassens von Gasen der Zeitpunkt gewählt wird, an dem der Photostrom vorgegebene Schwellenwerte über- bzw. unterschreitet. Diese Schwellenwerte sind die oben genannten Schwellenwerte S_1 , $S_{2,i}$.

Bei Oberflächen, die bereits stark mit Kohlenstoff kontaminiert sind, bietet es sich an, eine Reinigung unter EUV-Bestrahlung in sauerstoffhaltiger Atmosphäre durchzuführen, um die Kontamination zu entfernen. Um den Reinigungsprozess rechtzeitig zu stoppen, bevor die Oberfläche selbst angegriffen wird, d.h. ein sogenanntes Overetching zu verhindern, werden während des Reinigungsprozesses austretende Photoelektronen detektiert.

Die Erfindung soll anhand der Zeichnungen weiter erläutert werden. Dazu zeigen

- Fig. 1 den schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 2a-d schematische Darstellung eines optischen Elementes und die dazugehörige elektrische Feldintensität,
- Fig. 3-6 geregelte Photostromkurven für ein optisches Element mit einer oxidationsresistenten Oberfläche für vier verschiedene Kurvenlagen der elektrischen Feldintensität,
- Fig. 7-10 geregelte Photostromkurven für ein optisches Element mit einer oxidationsempfindlichen Kohlenstoffoberfläche für vier verschiedene Kurvenlagen der elektrischen Feldintensität,

Fig. 11-14 geregelte Photostromkurven für ein optisches Element mit einer sehr oxidationsempfindlichen Si-Oberfläche für vier verschiedene Kurvenlagen der elektrischen Feldintensität.

Die Vorrichtung 1 weist eine Vakuumkammer 3 auf, in der ein optisches Element 2, z.B. ein Spiegel mit einem Viellagensystem oder eine optische Maske, angeordnet ist, das mit EUV-Strahlung ausgeleuchtet wird. Oberhalb des optischen Elements 2 ist zur Detektion der Photoelektronen ein Nachweisring oder auch Nachweisgitter 41 angeordnet, das für die EUV-Strahlung im wesentlichen transparent ist. Damit die Photoelektronen von dem Ring 41 angezogen werden, ist über eine Spannungsquelle 43 zwischen dem optischen Element 2 und dem Ring 41 eine Spannung von einigen Volt (0 bis 100 V) angelegt. Trifft ein Photoelektron den Ring 41, fließt ein Strom, der mit Hilfe des Amperemeters 42 gemessen wird. In der Auswerteeinheit 5, die z.B. als analoge oder digitale Schaltung, aber auch als integrierter Schaltkreis ausgebildet sein kann oder mit der Steuereinheit 6 zu einer Regeleinheit beispielsweise in Form eines Rechners zusammengefasst sein kann, wird das Stromsignal ausgewertet, indem es beispielsweise über die Zeit integriert wird und mit vorgegebenen und gespeicherten Schwellenwerten verglichen wird. Die Information, welcher Schwellenwert gerade über- oder unterschritten wird, wird an die Steuereinheit 6 weitergegeben, die daraufhin das Ventil 72 der Gaszuleitung 71 öffnet oder schließt. Die Gaszuleitung 71 mündet in unmittelbarer Nähe der Oberfläche des optischen Elements 2, damit das Gleichgewicht zwischen dem Ablagerungs- und dem Oxidationsprozess von Kohlenstoff mit möglichst wenig Verzögerung verändert werden kann.

Vor Beginn der Bestrahlung wird mit einem Massenspektrometer oder Restgasanalysator 8 der anfängliche Partialdruck der Restgasbestandteile gemessen und an die Auswerteeinheit 5 weitergegeben. Anhand dieser Daten wird der passende Schwellenwertsatz ausgewählt. Auch während der Bestrahlung wird parallel zum Photostrom mit dem Massenspektrometer 8 das gesamte Restgasspektrum weiterhin gemessen. Mit dieser zusätzlichen

Information kann u.a. kontrolliert werden, ob nach wie vor der passende Schwellenwertsatz der Auswertung zugrunde gelegt wird.

Bei entsprechend umfangreicher Kalibrierung und eventuell unter Einbeziehung der aktuellen Restgaspartialdrücke, kann auch die Regelung der Gaszufuhr dahingehend verfeinert werden, dass das Ventil 72 nicht nur geöffnet oder geschlossen wird, sondern auch Zwischenstufen eingestellt werden. Hierzu werden vorzugsweise stufenlos einstellbare Ventile verwendet. Zur homogenen Verteilung des oder der zugeführten Gases/Gase sollten mehrere Gaszuleitungen 71 um die Fläche angeordnet sein. In diesem Fall kann auch gesteuert werden, welche Gaszuleitung dosiert geöffnet wird und welche nicht. Ferner ist noch eine Einrichtung 7 zur Messung der EUV-Intensität an die Auswerteeinheit 5 angeschlossen.

Einzelne oder sämtliche beschriebenen Komponenten können auch mehrfach in der Vakuumkammer 3 vorhanden sein.

In den Fig. 2a-d ist ein optisches Element dargestellt, das auf einem Substrat 11 ein Vielschichtsystem 10 aufweist. Zusätzlich ist die elektrische Feldintensität I für unterschiedliche Fälle 1, 2, 3, 4 eingezeichnet.

Im Fall 1 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem Wendepunkt und der vom Vielschichtsystem weg ansteigenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Im Fall 2 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem relativen Maximum und dem Wendepunkt auf der vom Vielschichtsystem weg abfallenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Im Fall 3 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem Wendepunkt und der vom Vielschichtsystem weg abfallenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Im Fall 4 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem relativen Minimum und dem Wendepunkt auf der vom Vielschichtsystem weg ansteigenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Mit 20 wird die durch Kontamination aufgewachsene Kohlenstoffschicht bezeichnet, deren freie Grenzfläche mit dem Bezugszeichen 101 gekennzeichnet ist.

Es ist in den Fig. 2a-d deutlich zu sehen, wie sich durch die aufwachsende Kohlenstoffschicht 20 die Kurvenlage der elektrischen Feldintensität im Verhältnis zur freien Grenzfläche 101 verändert.

Die nachfolgenden Figuren 3-14 zeigen den Photostrom für verschiedene Vielschichtsysteme für anfänglich nichtkontaminierte, freie Grenzflächen 100 in den Fällen 1, 2, 3 und 4.

In erster Näherung entspricht der zeitliche Verlauf des Photostroms dem zeitlichen Verlauf der elektrischen Feldintensität an der freien Grenzfläche. Die Berücksichtigung der Austrittstiefe von Photoelektronen führt in einer weiteren Näherung zur Addition eines konstanten Untergrundes zur Photostromcharakteristik. Höhere Näherungen sind möglich.

Die Photostromkurven der Fign. 3 bis 6 repräsentieren die Fälle 1 bis 4 an einem Vielschichtsystem mit einer oxidationsunempfindlichen Oberflächenschicht aus Ruthenium. Das Vielschichtsystem kann beispielsweise folgenden Schichtaufbau aufweisen:

Ru(1nm)/Mo(1nm)/Si(1.9nm)/Mo(2.85nm)/37x[Si(4.1nm)/Mo(2.85nm)]/
Substrat

Die Fig. 3 bezieht sich auf den Fall 1 in der Fig. 2a.

Im Fall 1 befindet sich die freie Grenzfläche 100 in einem Wendepunkt der elektrischen Feldintensität, was bedeutet, dass der Photostrom einen mittleren Wert S_1 aufweist. Mit zunehmendem Aufwachsen von Kohlenstoff steigt die Kurve der elektrischen Feldintensität an, was mit einer Zunahme des Photostroms einhergeht. Das Aufwachsen des Materials Kohlenstoff bewirkt zwar eine Abnahme der Anzahl der Photoelektronen, allerdings überwiegt die Zunahme der Photoelektronen durch das Herauswachsen der freien Grenzfläche in Richtung Maximum der elektrischen Feldintensität, in dem die Photoemission am größten ist.

Da die Lage der freien Grenzfläche in Bezug auf die Photoemission im Vergleich zu den Materialeigenschaften die dominierende Größe darstellt, nimmt insgesamt die Photostromkurve zu, bis der zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ erreicht ist. Durch eine geeignete Sauerstoffzufuhr schwingt diese Kurve wieder zum Schwellenwert S_1 zurück (s. Fig. 3). Die Sauerstoffzufuhr wird gedrosselt und schließlich vollständig abgestellt, was wiederum zu einem Aufwachsen des Kohlenstoffs führt. Beim Erreichen des zweiten Schwellenwertes $S_{2,2}$, der kleiner $S_{2,1}$ ist, wird wiederum Sauerstoff eingeleitet usw.

Im Fall 3 befindet sich die freie Grenzfläche 100 zu Beginn ebenfalls in einem Wendepunkt, allerdings bewegt sich die freie Grenzfläche 101 durch das Aufwachsen des Kohlenstoffs in Richtung Wellenknoten, d.h. in Richtung Minimum der elektrischen Feldintensität, was mit einer Abnahme des Photostroms verbunden ist. Diese Abnahme wird durch die durch das Material Kohlenstoff bewirkte Abnahme der Photoemission verstärkt, was zu dem in Fig. 5 gezeigten Kurvenverlauf führt.

Im Fall 4 (siehe Fig. 6) befindet sich der Wellenknoten bzw. das Minimum der elektrischen Feldintensität unmittelbar auf der Oberfläche, was bedeutet, dass der Photostrom gering ist. Wenn nun ein Aufwachsen der Kohlenstoffschicht erfolgt, dann nimmt der Photostrom zu, und zwar deswegen, weil die Oberfläche aus der Knotenlage herauswandert. Das Aufwachsen des Materials Kohlenstoff bewirkt zwar eine Reduktion der Photokonversionseffizienz, allerdings

überwiegt der Anstieg des Photostromes aufgrund des Herauswachsens aus der Knotenlage. Dies führt im Ergebnis zu einer ansteigenden Photostromkurve. Bei Erreichen des Schwellenwertes $S_{2,1}$ wird Sauerstoff oder sauerstoffhaltiges Gas in das geschlossene System eingeleitet, was zu einer Oxidation und somit zu einem Abtragen der Kohlenstoffschicht führt. Dies führt zu einer Abnahme der Photostromkurve, was aufgrund verringerter Kohlenstoffschichtdicke durch die Annäherung der freien Grenzfläche an die Knotenlage bedingt ist. Wenn der Ausgangszustand einer kohlenstofffreien Oberfläche erreicht wird, was dem unteren Schwellenwert S_1 entspricht, soll keine weitere Oxidation stattfinden und die Sauerstoffzufuhr wird dementsprechend heruntergeregelt. Dieser Vorgang wiederholt sich, wobei die zweiten Schwellenwerte $S_{2,2}$, $S_{2,3}$, $S_{2,4}$, $S_{2,5}$ jeweils niedriger als der vorhergehende zweite Schwellenwert gelegt werden, so dass im Verlauf der Zeit eine Annäherung an den Schwellenwert S_1 stattfindet und somit der Regelbereich minimiert werden kann.

Im Fall 2 befindet sich die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems im Maximum der Kurve der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle. In diesem Fall ist die Photoemission aufgrund der Kurvenlage deutlich höher als im Fall 4. In der Fig. 4 liegt der erste Schwellenwert S_1 bei ca. 180 nA. Durch das Aufwachsen der Kohlenstoffschicht wandert die Oberfläche aus dieser Position heraus, was mit einer Abnahme des Photostroms verbunden ist. Das Anwachsen der Kohlenstoffschicht äußert sich ebenfalls in einer Verringerung der Photoemission, was in der Summe zu einem starken Abnehmen der Photostromkurve führt. Die Kurve nimmt so lange ab, bis der Grenzwert $S_{2,1}$ erreicht ist. Vorher oder bei Erreichen oder bei Überschreiten dieses Grenzwertes wird die geeignete Sauerstoffzufuhr in Gang gesetzt, was zu einem Abbau der Kohlenstoffschicht führt. Die Photostromkurve schwingt daher wieder zum Ausgangswert S_1 zurück. Dieser Vorgang setzt sich ebenfalls periodisch fort, wobei die zweiten Schwellenwerte $S_{2,2}$, $S_{2,3}$ usw. jeweils höher angesetzt werden, so dass mit zunehmender Zeitdauer sich die Grenzwerte dem ersten Grenzwert S_1 nähern.

Der Kurvenverlauf der Photoströme hängt entscheidend davon ab, ob man sich bezüglich der elektrischen Feldintensitäten am Punkt mit großer oder geringer Anfangssteigung befindet. In den Fällen 1 und 3 befindet man sich bezüglich der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle in einer großen Anfangssteigung, was eine schnellere Rückkopplung und somit eine große Oszillationsfrequenz bewirkt. Das Material Kohlenstoff bewirkt aber generell eine Reduktion des Photostromes aufgrund seiner geringen Photokonversionseffizienz. In den Fällen 2 und 4 befindet man sich in einer kleinen Anfangssteigung, so dass hier langsamere Rückkopplung des Regelkreises vorliegt.

In den Fig. 7 bis 10 sind die Photostromkurven für ein optisches Element mit einer oxidationsempfindlichen Kohlenstoffdeckschicht (z.B. C-Caplayer 1nm) dargestellt. Die vier Kurven beziehen sich ebenfalls auf die Fälle 1 bis 4 in den Fig. 2a-d.

Im Fall 1, der in Fig. 7 dargestellt ist, befindet sich die freie Grenzfläche 101 der Kohlenstoffdeckschicht im Wendepunkt der Kurve der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle. Mit zunehmendem Anwachsen des Kohlenstoffs stellt sich ein Kurvenverlauf entsprechend der Fig. 3 ein, wobei allerdings beim Einreichen des zweiten Schwellenwertes $S_{2,1}$ die Sauerstoffzugabe nur dosiert erfolgen kann, damit eine vollständige Oxidation der Deckschicht vermieden wird, die in der vorgesehenen Dicke von 1 nm erhalten werden soll.

Im Fall 2, der in der Fig. 8 dargestellt ist, befindet sich die freie Grenzfläche der Kohlenstoffdeckschicht im Maximum der Kurve der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle. Durch das Anwachsen der Kohlenstoffschicht wandert die Oberfläche aus dieser Position heraus, was mit einer Abnahme des Photostroms verknüpft ist. Das Anwachsen des Materials Kohlenstoff äußert sich ebenfalls in einer Verringerung der Photoemission, was in der Summe zu einem starken Abnehmen der Photostromkurve führt. Die Kurve nimmt so lange ab, bis der Grenzwert $S_{2,1}$ erreicht ist. Vorher oder bei Erreichen des Grenzwertes wird Sauerstoff zugeführt, was zu einem Abbau der Kohlenstoffschicht führt. Auch hierbei ist darauf zu achten, dass keine vollständige Oxidation der Kohlenstoffschicht auftritt.

Die Fälle 3 und 4, die in den Fign. 9 und 10 dargestellt sind, entsprechen den in den Fign. 5, 6 dargestellten und beschriebenen Mechanismen.

Die Fälle 1 bis 4 zeigen alle keinen oszillierenden Photostrom, da der Regelkreis nur schwach rückkoppeln darf, damit die vollständige Oxidation des Kohlenstoffs vermieden wird.

Die Fign. 11 bis 14 betreffen ein Vielschichtsystem mit einer oxidationsempfindlichen Oberfläche, wie z.B. mit einer Siliziumschicht. Um eine Oxidation der Siliziumoberfläche zu vermeiden, wurde zunächst eine karbonisierende Restgasatmosphäre eingestellt. Die Sauerstoffzufuhr wird bei Erreichen des zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ eingeleitet und anschließend langsam gedrosselt, so dass der Schwellenwert S_1 nicht erreicht werden kann, was mit einem Beginn der Oxidation der Oberfläche gleichbedeutend wäre.

Die Photostromkurven gemäß der Fig. 11 - 14 zeigen jeweils einen asymptotischen Verlauf.

Es kann zur Schonung der Si-Oberfläche bereits vor Einreichen des Schwellenwertes S_1 eventuell kohlenstoffhaltiges Gas zugegeben werden. Der aufgewachsene Kohlenstoff wird anschließend durch die Zugabe von sauerstoffhaltigem Gas wieder abgetragen. Dies würde ebenfalls zu einem oszillierenden Kurvenverlauf des Photostroms führen.

Bezugszeichen

1	Vorrichtung
2	optisches Element
3	Vakuumkammer
5	Auswerteeinheit
6	Steuereinheit
7	Einrichtung zur Messung der EUV-Intensität (ggf. mehrfach lokal installiert)
8	Restgasanalysator
10	Vielschichtsystem
11	Substrat
20	Kohlenstoffschicht
41	Elektronenfänger
42	Amperemeter
43	Spannungsquelle
71	Gaszuleitung (ggf. mehrfach lokal installiert)
72	Ventil (ggf. mehrfach lokal installiert)
100	freie Grenzfläche des Vielschichtsystems
101	freie Grenzfläche der Kohlenstoffschicht

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vermeidung von Kontamination auf Oberflächen optischer, ein Vielschichtsystem aufweisender Elemente während ihrer Bestrahlung mit EUV-Strahlung bei Betriebswellenlänge in einem evakuierten, eine Restgasatmosphäre aufweisenden geschlossenen System, bei dem der durch Photoemission aus der bestrahlten Oberfläche des Vielschichtsystems erzeugte Photostrom gemessen wird, und der Photostrom zur Regelung der Gaszusammensetzung des Restgases eingesetzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gaszusammensetzung des Restgases in Abhängigkeit von mindestens einem unteren und einem oberen Schwellenwert des Photostroms verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schwellenwerte des Photostroms aus dem Bereich zwischen dem minimalen Photostrom I_{\min} und dem maximalen Photostrom I_{\max} gewählt werden, die dann auftreten, wenn das Minimum und das Maximum der elektrischen Feldintensität der sich bei Reflexion der eingestrahlten Betriebswellenlänge im Vielschichtsystem ausbildenden stehenden Welle in der freien Grenzfläche des Vielschichtsystems liegen.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
 - a) Messen eines ersten Wertes des Photostroms zu Beginn der EUV-Bestrahlung nach dem Abklingen von Einschwingeffekten und Speichern dieses Wertes als ersten Schwellenwert $S_{1,i}$;
 - b) Vorgabe mindestens eines zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ für den Photostrom mit $i = 1, 2, 3, \dots$, wobei $S_1 > S_{2,i}$ oder $S_1 < S_{2,i}$ ist;

- c) Messen des Photostroms während der laufenden EUV-Bestrahlung;
 - d) Regulieren der Gaszusammensetzung während der Bestrahlung in Abhängigkeit vom gemessenen Photostrom, indem vor oder bei Erreichen oder Überschreitung des zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ dem geschlossenen System mindestens ein Gas zugeführt wird und anschließend vor oder bei Erreichen oder Überschreitung des ersten Schwellenwertes S_1 die Zufuhr dieses Gases zumindest gedrosselt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
- a) Messen eines ersten Wertes des Photostroms zu Beginn der EUV-Bestrahlung nach dem Abklingen von Einschwingeffekten und Speichern dieses Wertes als ersten Schwellenwert S_1 ;
 - b) Vorgabe mindestens eines zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ für den Photostrom mit $i = 1, 2, 3, \dots$, wobei $S_1 > S_{2,i}$ oder $S_1 < S_{2,i}$ ist;
 - c) Messen des Photostroms während der laufenden EUV-Bestrahlung;
 - d) Regulieren der Gaszusammensetzung während der Bestrahlung in Abhängigkeit vom gemessenen Photostrom, indem vor oder bei Erreichen oder bei Überschreitung des ersten Schwellenwertes S_1 dem geschlossenen System mindestens ein Gas zugeführt wird und anschließend vor oder bei Erreichen oder Überschreitung des zweiten Schwellenwertes $S_{2,1}$ die Zufuhr dieses Gases zumindest gedrosselt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gas zugeführt wird, das in der Restgasatmosphäre bereits enthalten ist, wobei der Partialdruck dieses Gases verändert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gas zugeführt wird, das in der Restgasatmosphäre vor der Zugabe nicht enthalten ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff, Wasser, Sauerstoff, Stickstoff, SF₆, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Alkane, Alkene, Alkine, Alkohole, Ketone, Aldehyde und/oder andere Kohlenwasserstoffe, Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure, Wasserstoffperoxid, Hydrazin, N₂O, NO, NO₂, SO₂ und/oder andere sauerstoffhaltige Gase, F, Cl, Br, I, Chlormethan, Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlorkohlenstoff, Tetrafluorkohlenstoff, Fluormethan, Difluormethan, Ammoniak, Phosphin, Antimonwasserstoff, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff, Jodwasserstoff, Borfluorid, Diboran, Stickstofftrifluorid, Schwefelwasserstoff, Selenwasserstoff, Tellurwasserstoff und/oder andere halogen-/wasserstoffhaltige Gase zugeführt wird/werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere zweite Schwellenwerte $S_{2,i}$ vorgegeben werden, wobei $|S_{2,i+1} - S_1| \leq |S_{2,i} - S_1|$ oder $|S_{2,i+1} - S_{2,i}| \leq |S_{2,i} - S_{2,i-1}|$ ist mit $i = 1, 2, 3, \dots$

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der EUV-Bestrahlung die Lage des nächstgelegenen Minimums und /oder Wendepunktes und/oder des Maximums (Kurvenlage) der elektrischen Feldintensität der sich bei Reflexion der eingestrahlten Betriebswellenlänge im Vielschichtsystem ausbildenden stehenden Welle bezüglich der freien Grenzfläche des Vielschichtsystems bestimmt wird und dass in Abhängigkeit der Kurvenlage der zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ bezüglich des ersten Schwellenwertes S_1 als unterer oder als oberer Schwellenwert festgelegt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einem optischen Element mit einer oxidationsempfindlichen Oberfläche vor der EUV-Bestrahlung eine karbonisierte Gaszusammensetzung eingestellt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor Erreichen des ersten Schwellenwertes S_1 ein kohlenstoffhaltigen Gas zugeführt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gemessenen Photoelektronen in das Zeitintegral des entsprechenden Stroms umgerechnet werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gas in Oberflächennähe des optischen Elementes zugeführt wird.

14. Vorrichtung zur Regelung der Kontamination auf der Oberfläche mindestens eines optischen Elementes während der Bestrahlung mittels EUV-Strahlung, mit einer Detektiereinrichtung (42, 42, 43) für von dem optischen Element emittierten Photoelektronen, mit einer an die Detektiereinrichtung angeschlossenen Auswerteeinheit (5) und mit einer Steuereinrichtung (6), die an die Auswerteeinheit und an eine Gaszuführeinrichtung (71, 72) angeschlossen ist, wobei die Auswerteeinheit (5) zum Vergleichen des gemessenen Photostroms mit mindestens zwei gespeicherten Schwellenwerten des Photostroms sowie zum Abgeben von schwellenwertabhängigen Signalen an die Steuereinrichtung (6) ausgebildet ist.
15. EUV-Lithographievorrichtung mit optischen Elementen (2), wobei in der Nähe mindestens eines der optischen Elemente (2) eine Detektiereinrichtung (41, 42, 43) für Photoelektronen angebracht ist, die mit einer Auswerteeinheit (5) wirkverbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Auswerteeinheit (5) eine Steuereinrichtung (6) angeschlossen, die mit mindestens einer Gaszuführeinrichtung (71, 72) wirkverbunden ist, wobei die Auswerteeinheit (5) zum Vergleichen des gemessenen Photostroms mit mindestens zwei gespeicherten Schwellenwerten des Photostroms sowie zum Abgeben von schwellenwertabhängigen Signalen an die Steuereinrichtung (6) ausgebildet ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektiereinrichtung (41, 42, 43) einen über der Oberfläche des optischen Elementes angeordneten Elektronenfänger, wie Nachweisring (41) oder Nachweisnetz, umfasst, der derart angeordnet und/oder ausgebildet ist, dass er die einfallende EUV-Strahlung nicht beeinträchtigt.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gaszuführeinrichtung mindestens eine Gaszuleitung (71) aufweist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gaszuleitung (71) benachbart zur Oberfläche des optischen Elementes (2) angeordnet ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Auswerteeinheit (5) ein Restgasanalysator (8) angeschlossen ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerte- (5) und die Steuereinheit (6) zu einer Regeleinheit zusammengefasst sind.
21. Verfahren zur Reinigung von mit Kohlenstoff kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen durch Bestrahlung mit EUV-Strahlung in sauerstoffhaltiger Atmosphäre, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Bestrahlung der durch Photoemission aus der zu reinigenden Oberfläche erzeugte Photostrom gemessen wird und dass bei Über- oder Unterschreiten von mindestens zwei vorgegebenen Schwellenwerten des Photostroms mindestens ein Gas zugeführt oder die Zuführung des mindestens einen Gases unterbrochen wird.

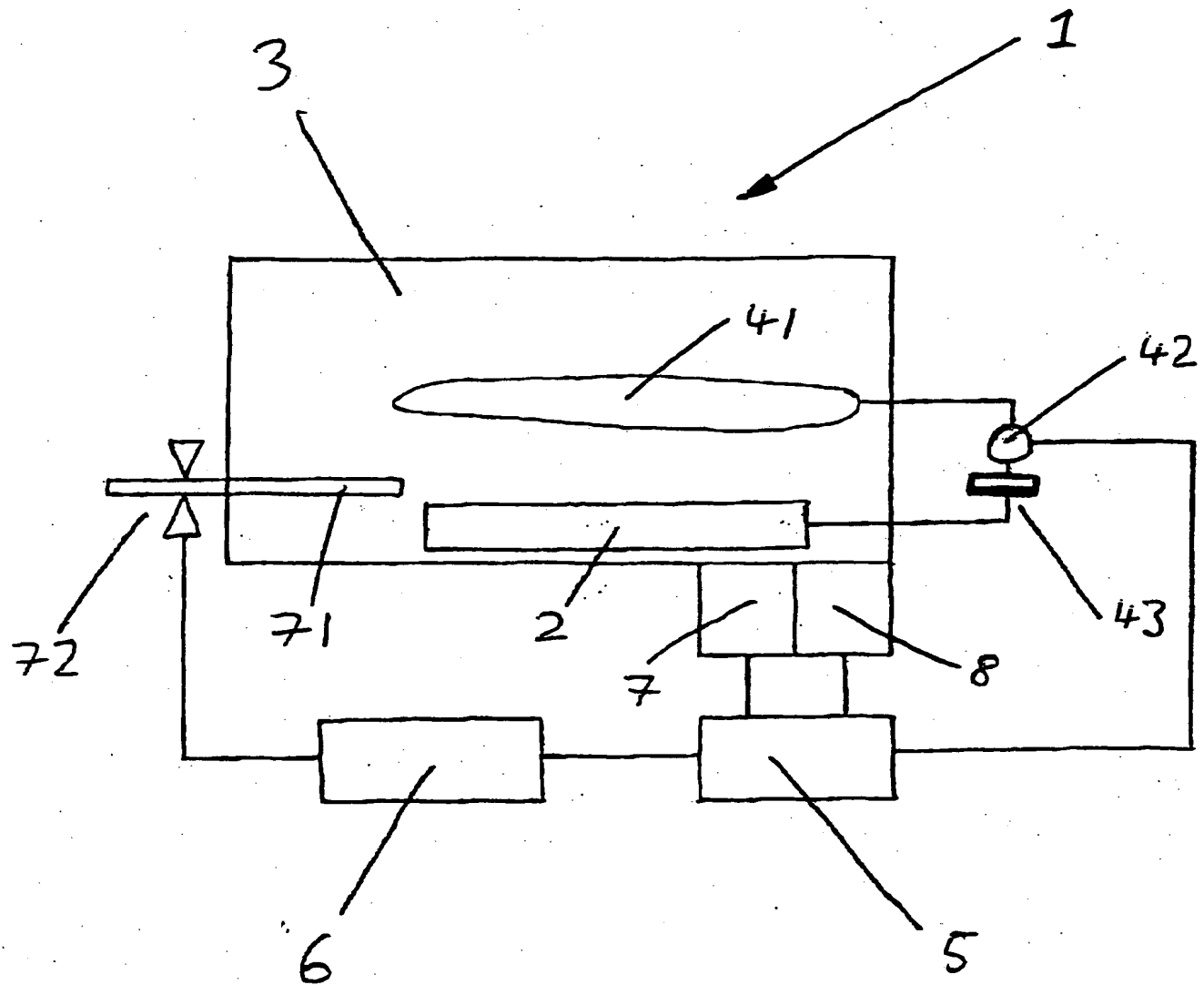


Fig. 1

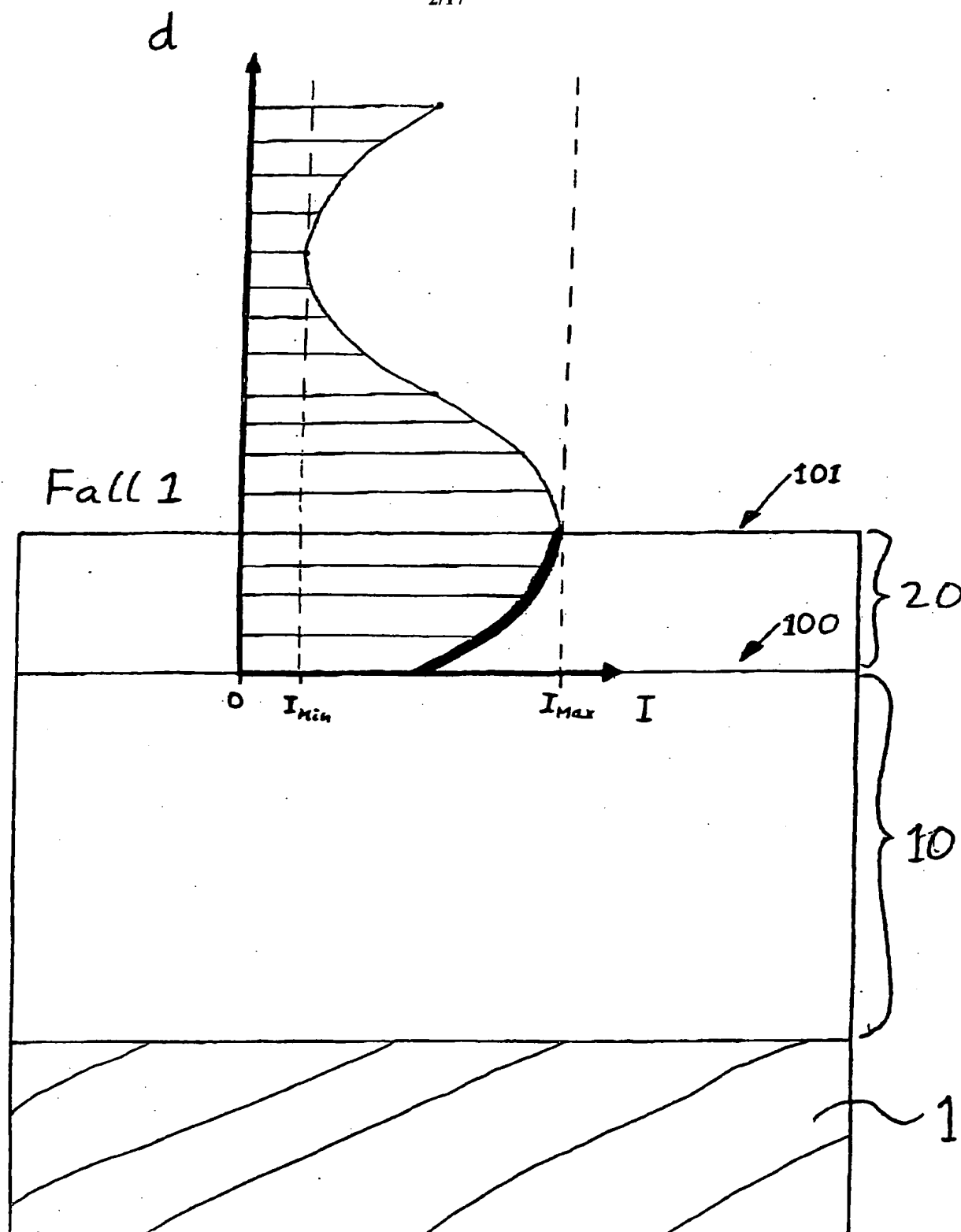


Fig. 2a

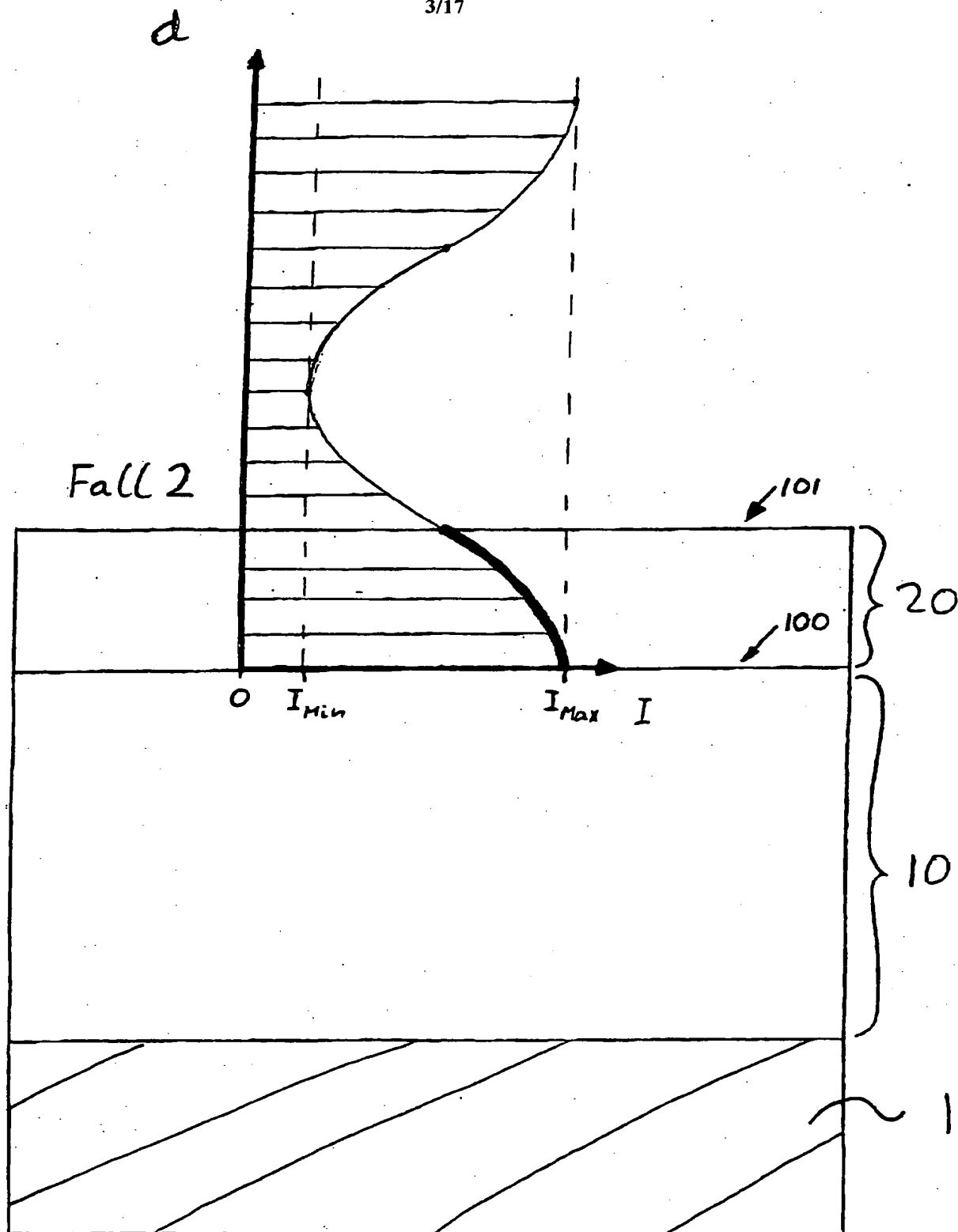


Fig. 2b

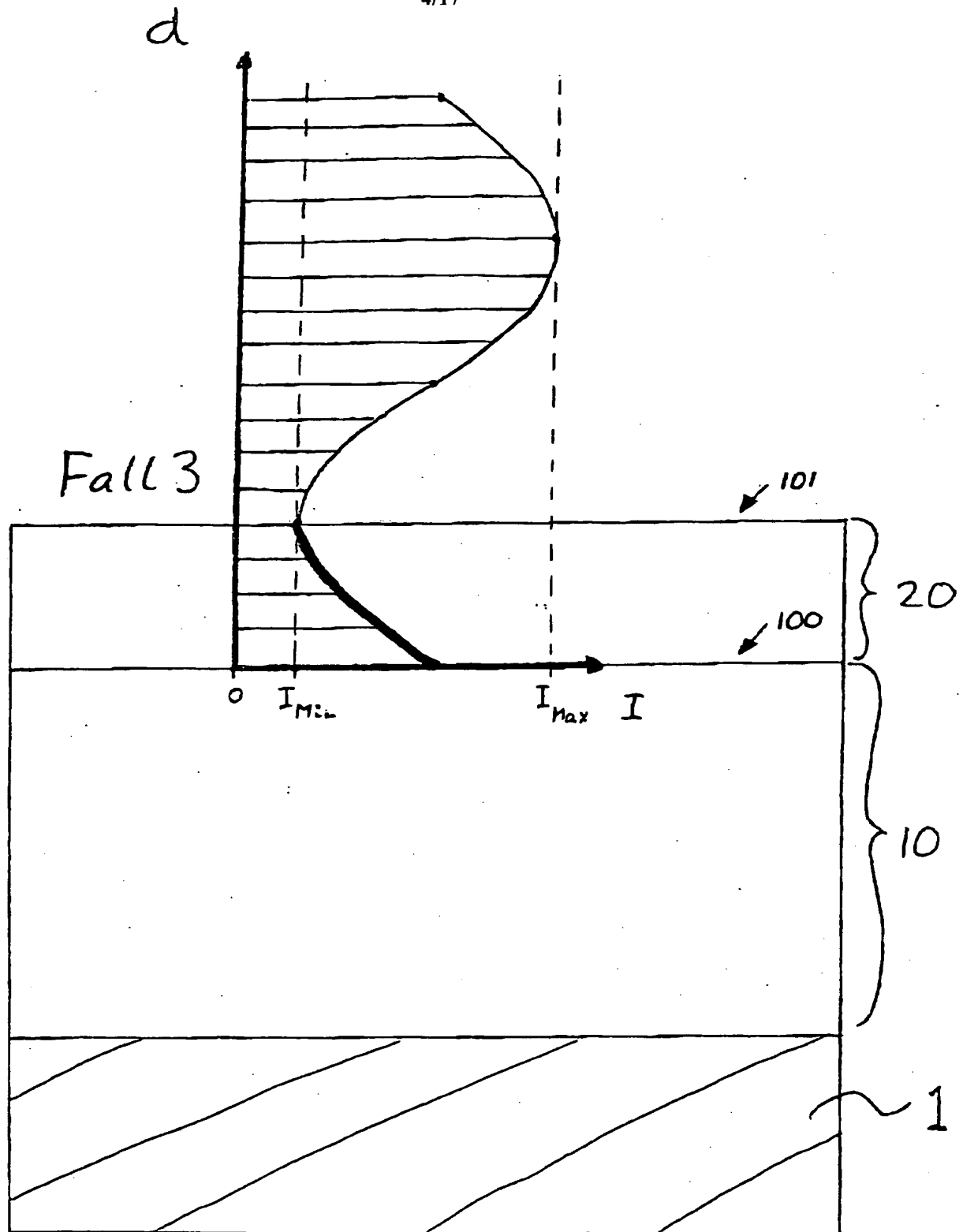


Fig. 2c

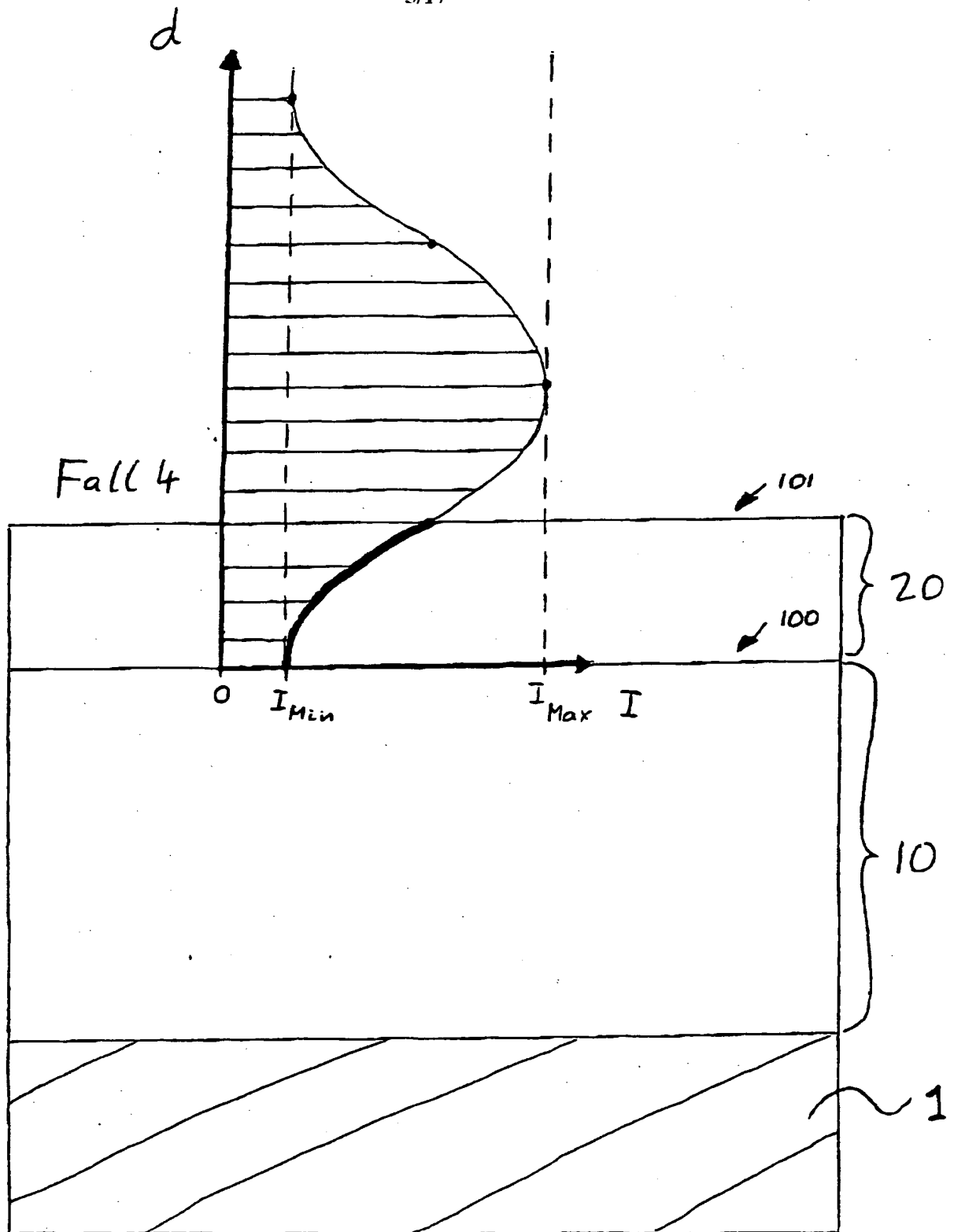


Fig. 2d

Fig. 3

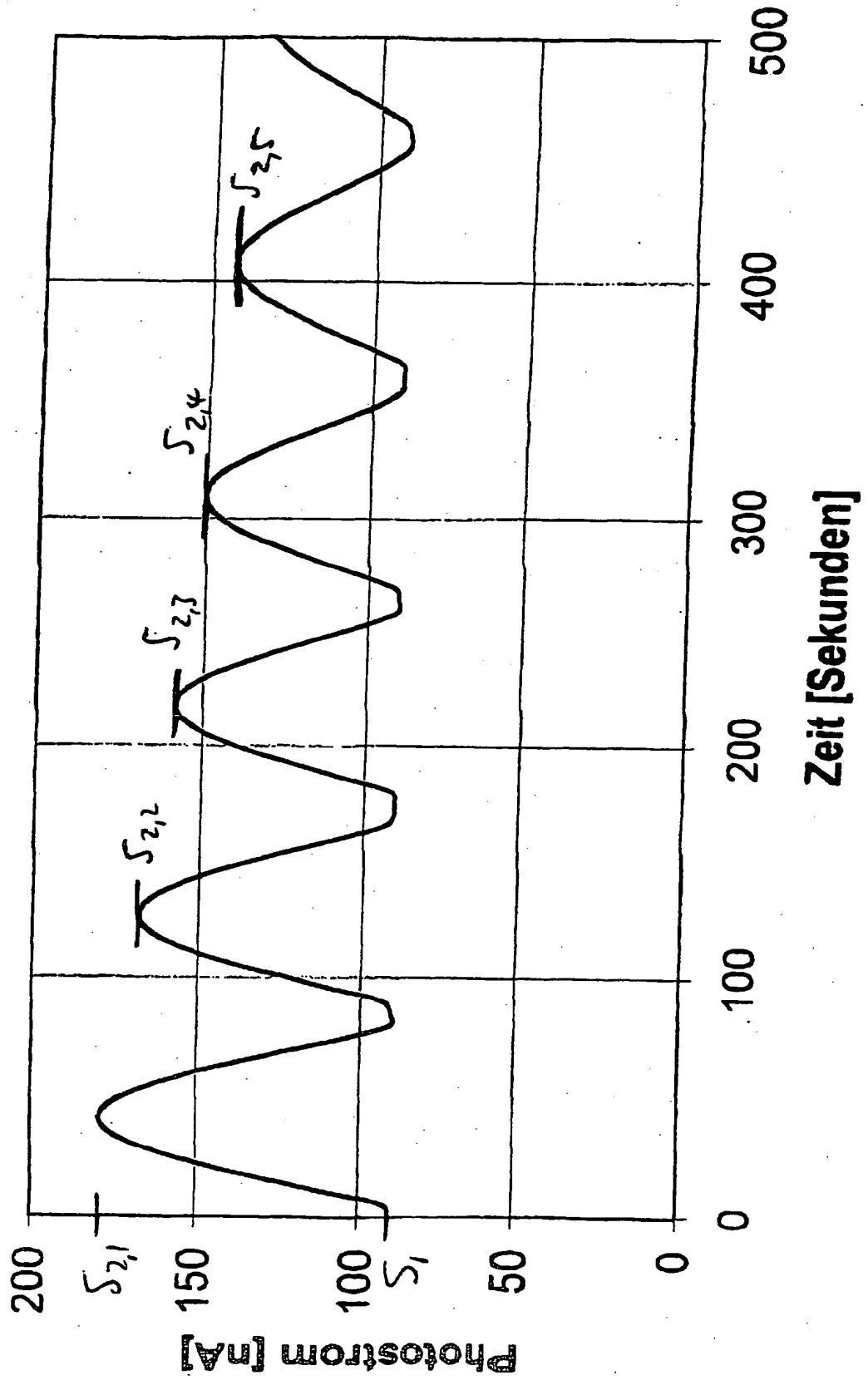


Fig. 4

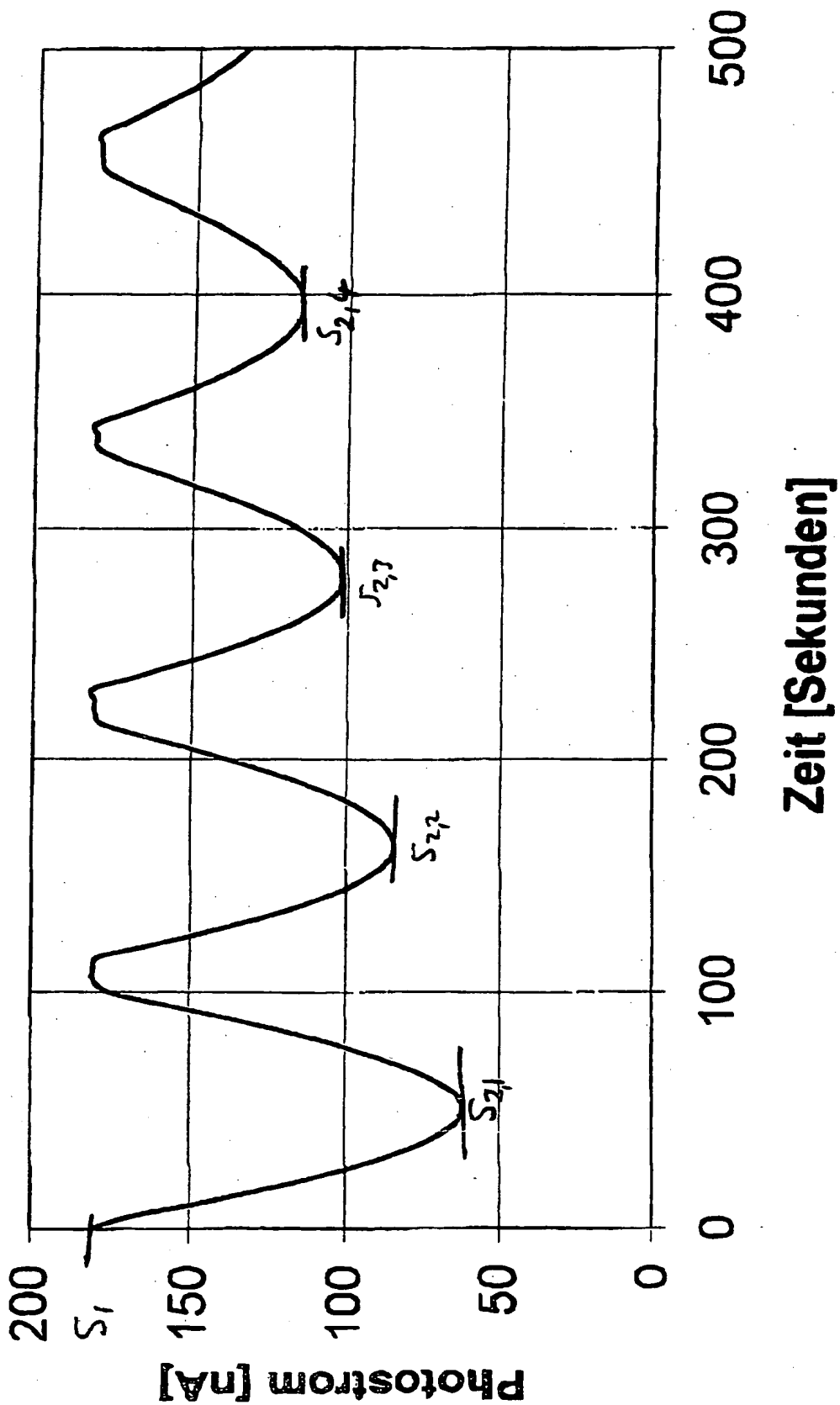


Fig. 5

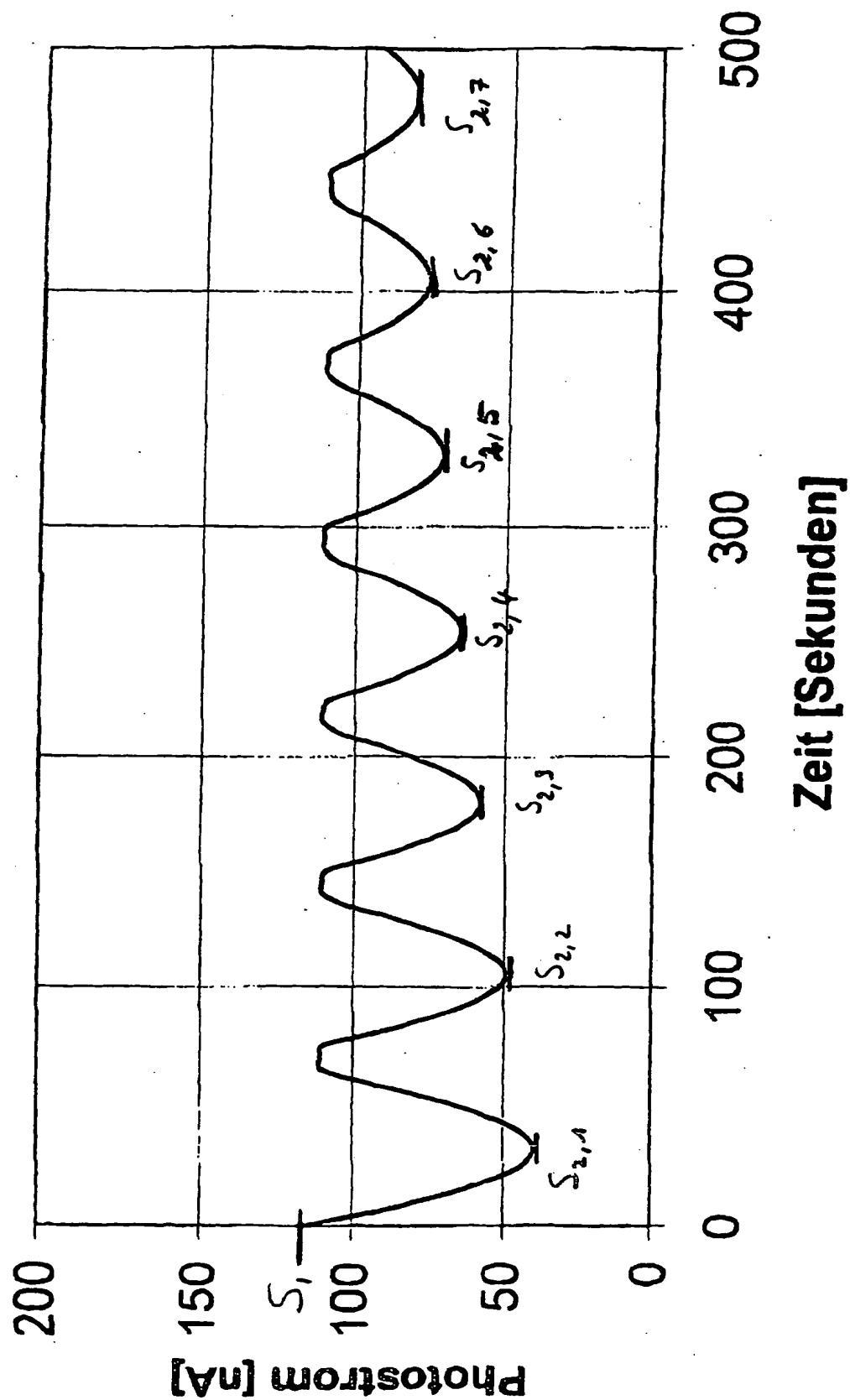


Fig. 6

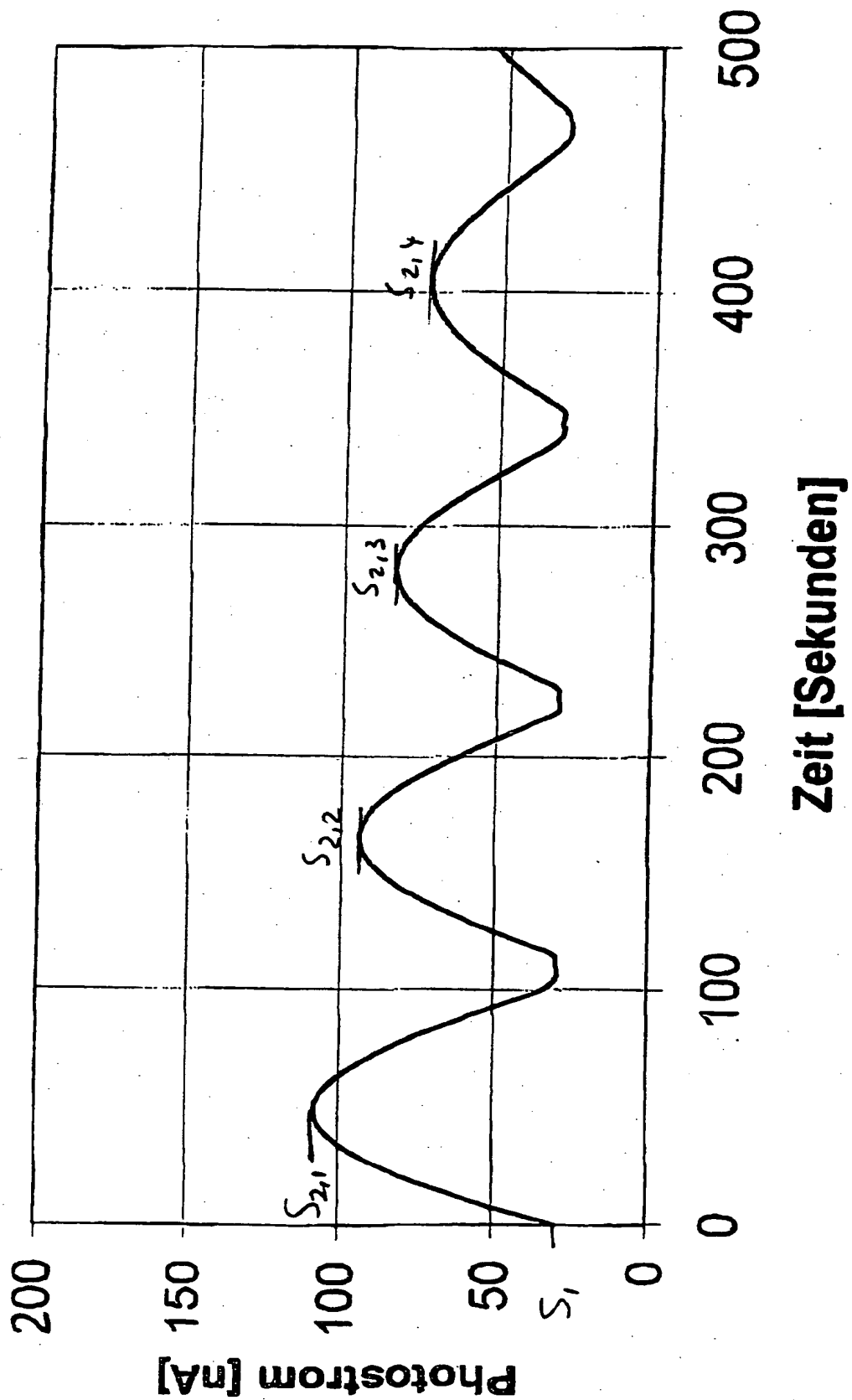


Fig. 7

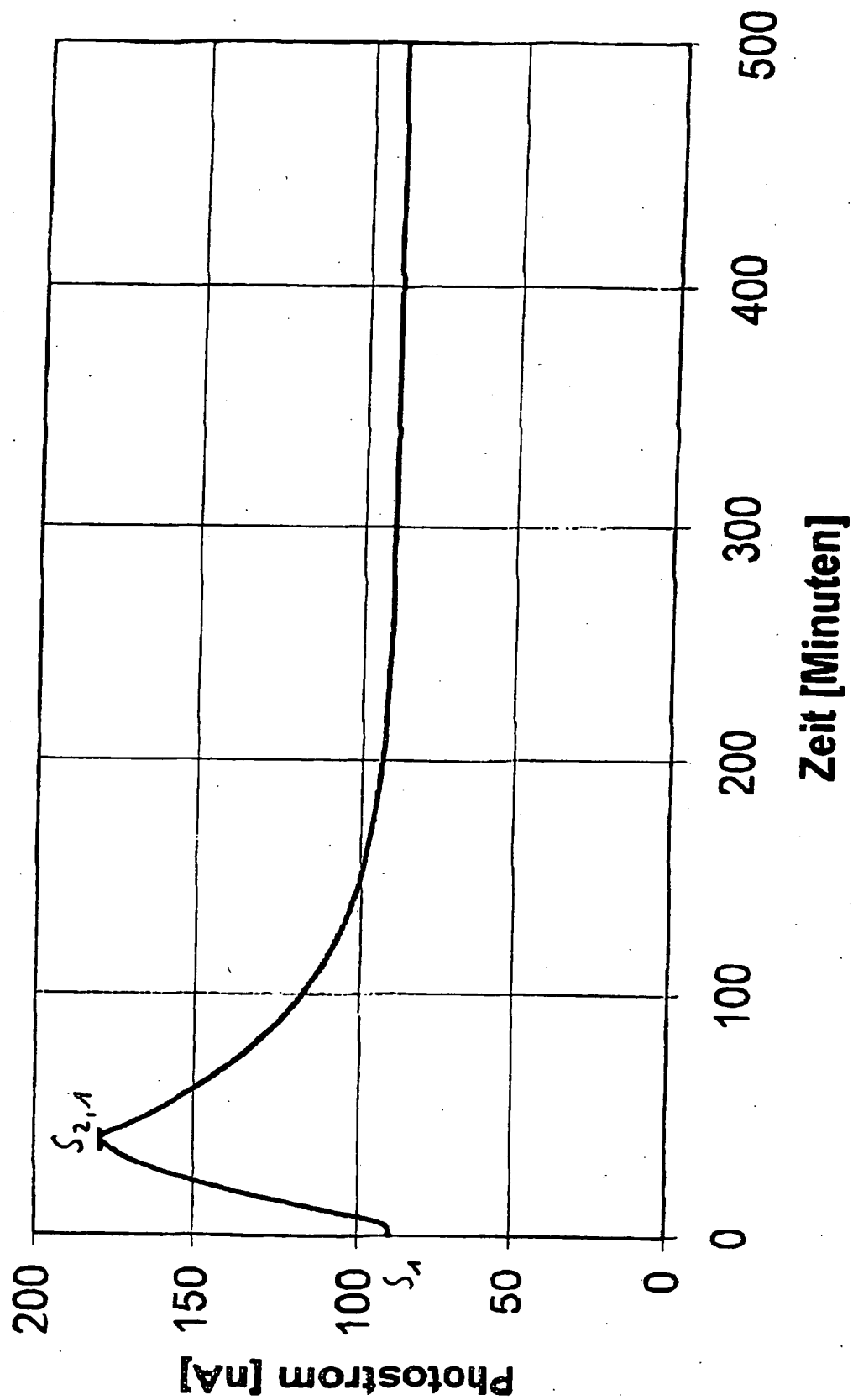


Fig. 8

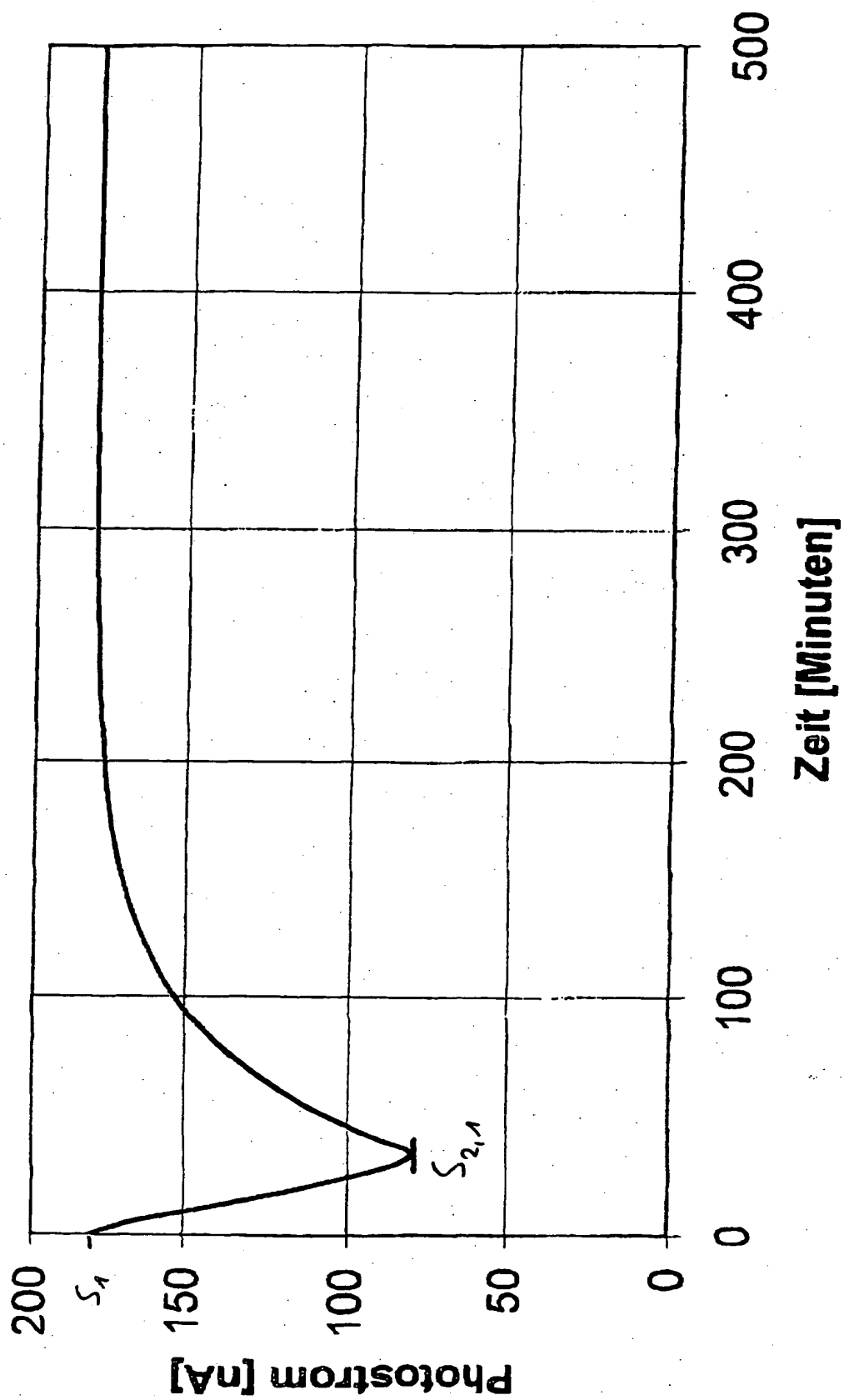


Fig. 9

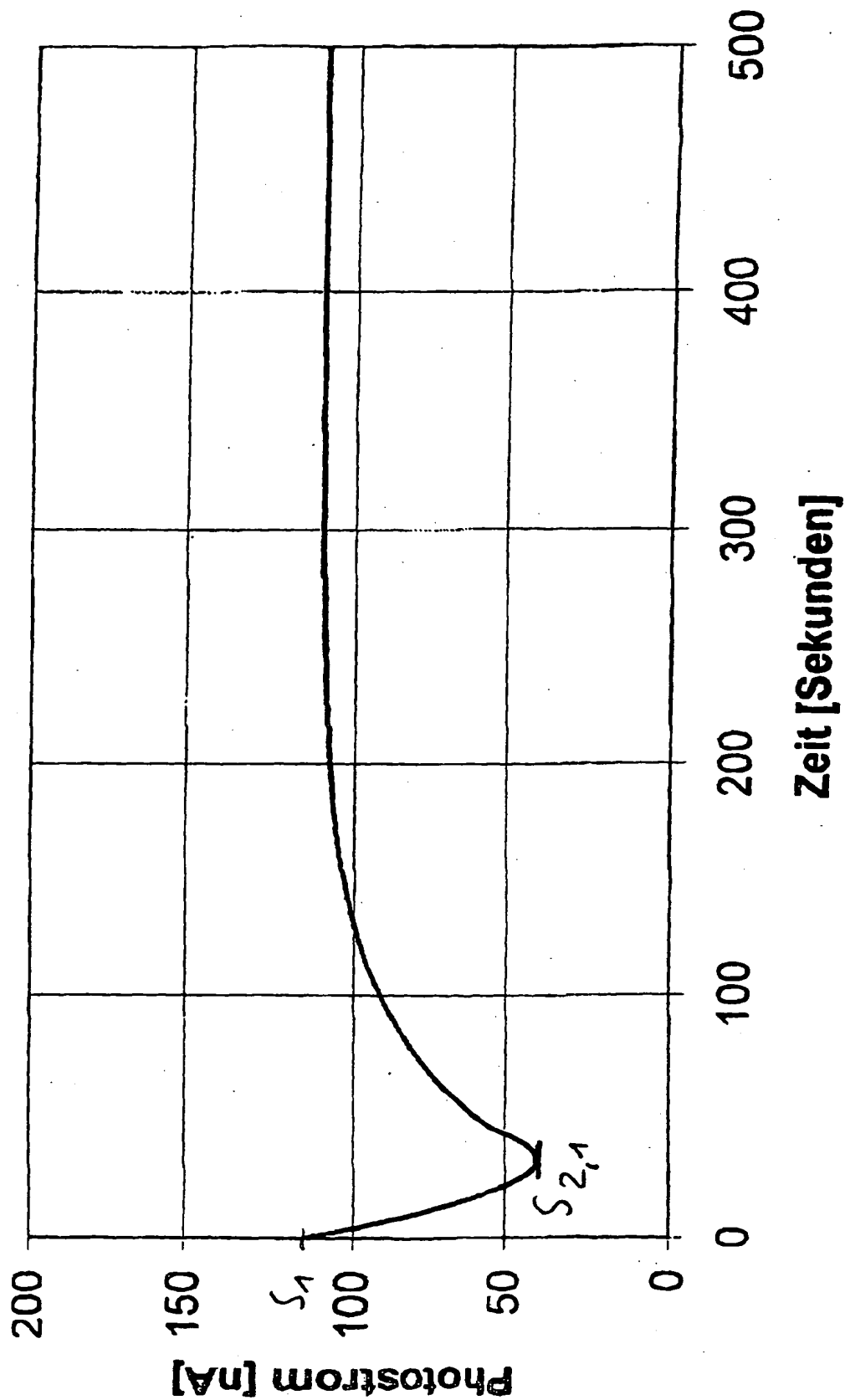


Fig. 10

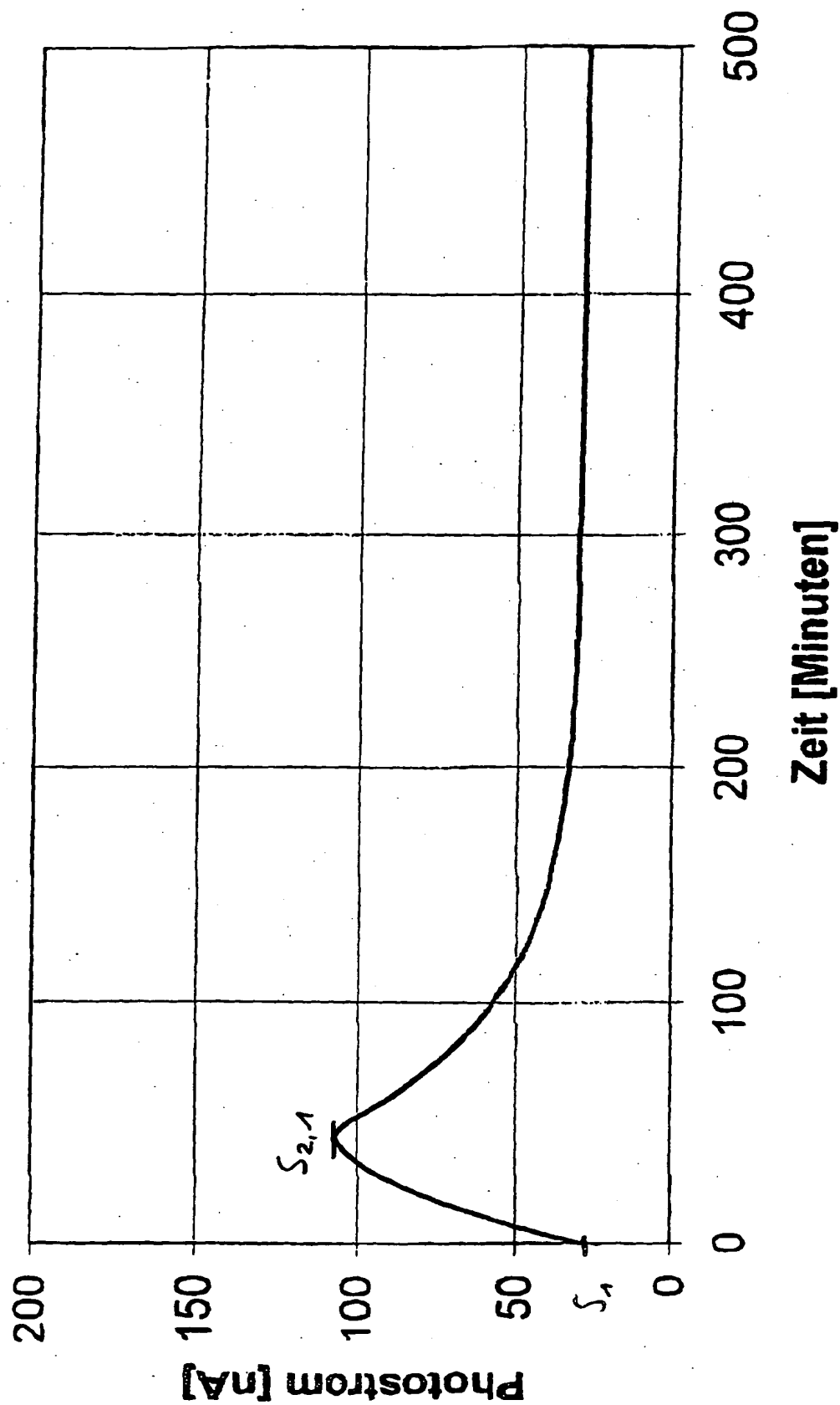


Fig. 11

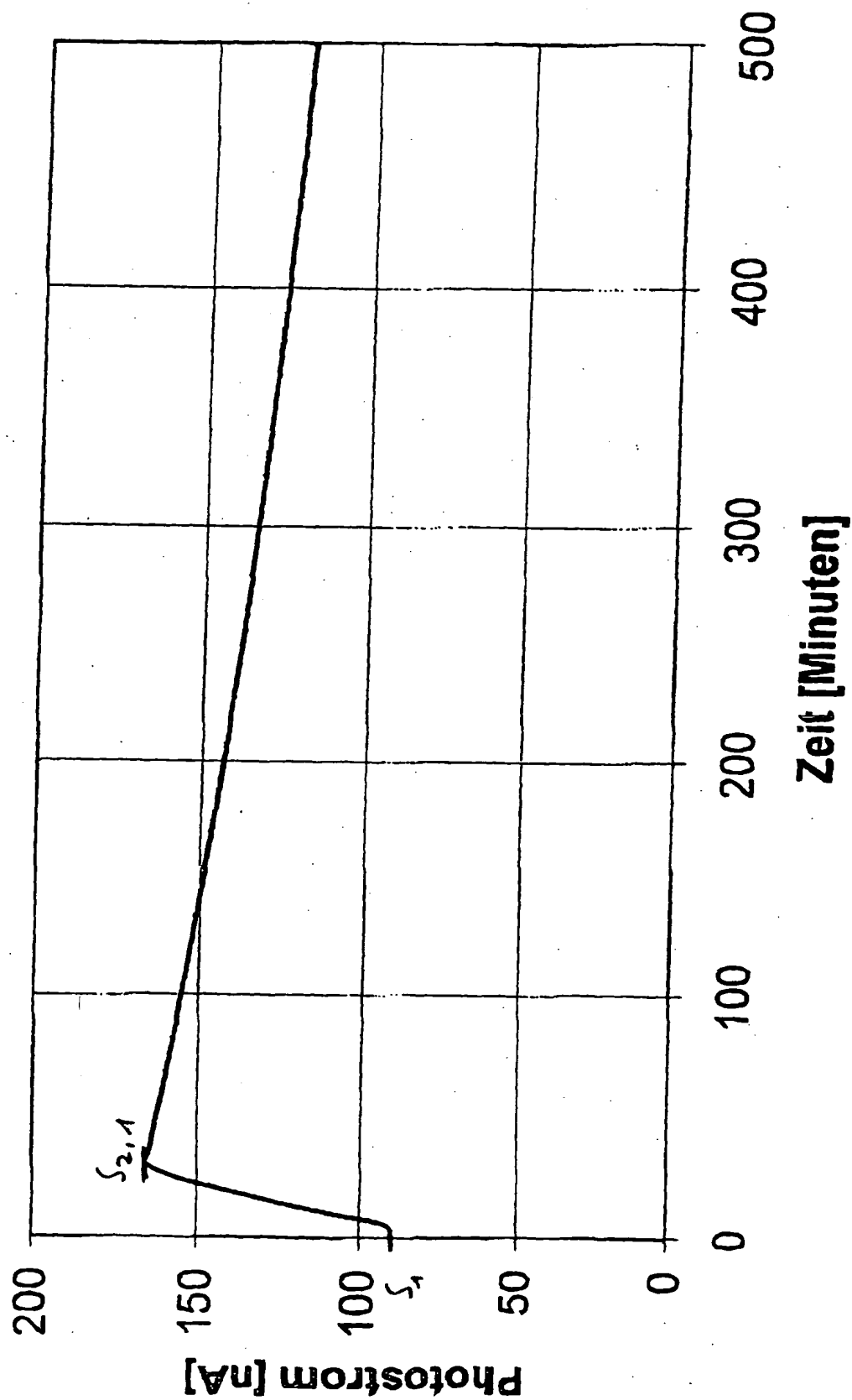


Fig. 12

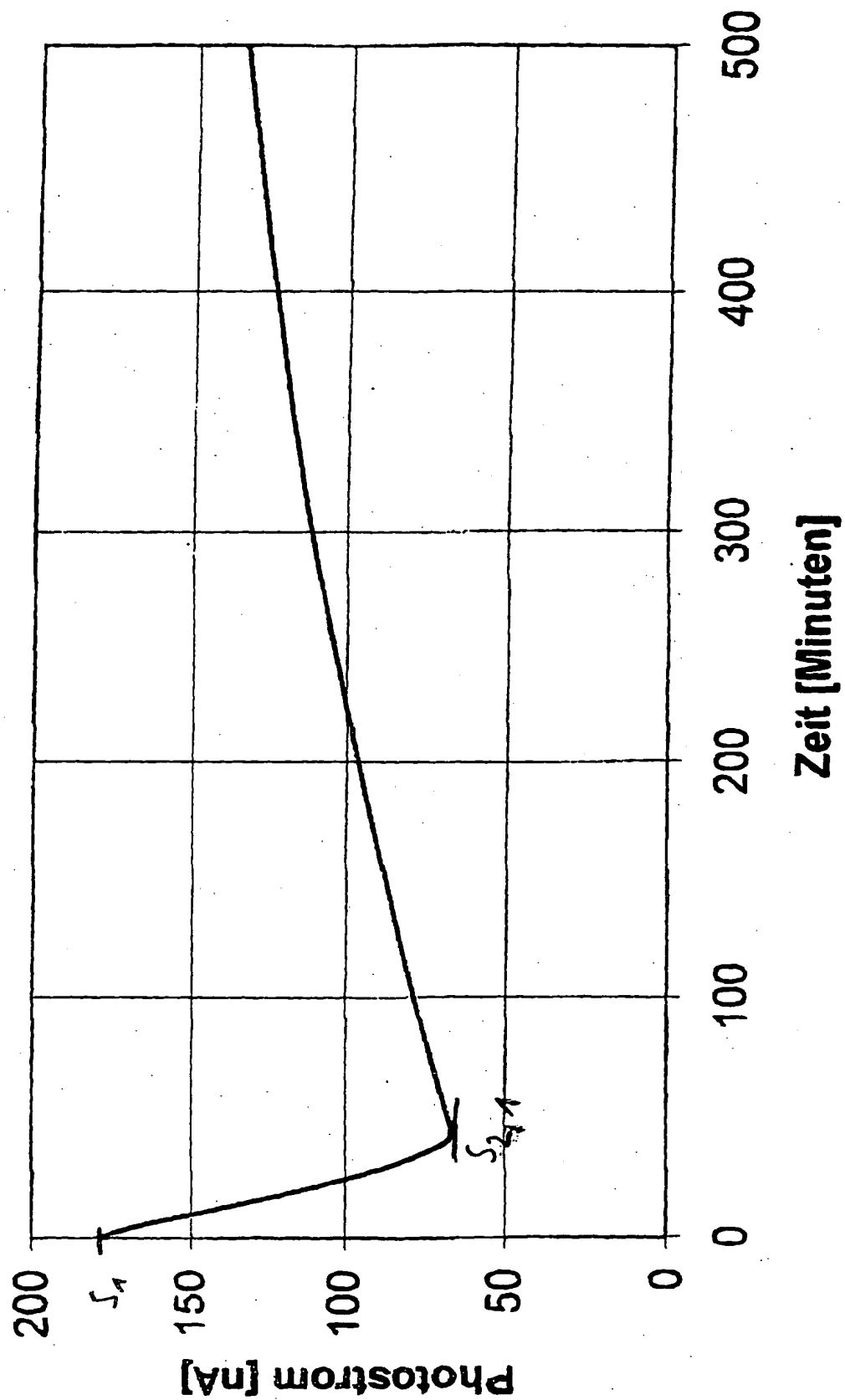


Fig. 13

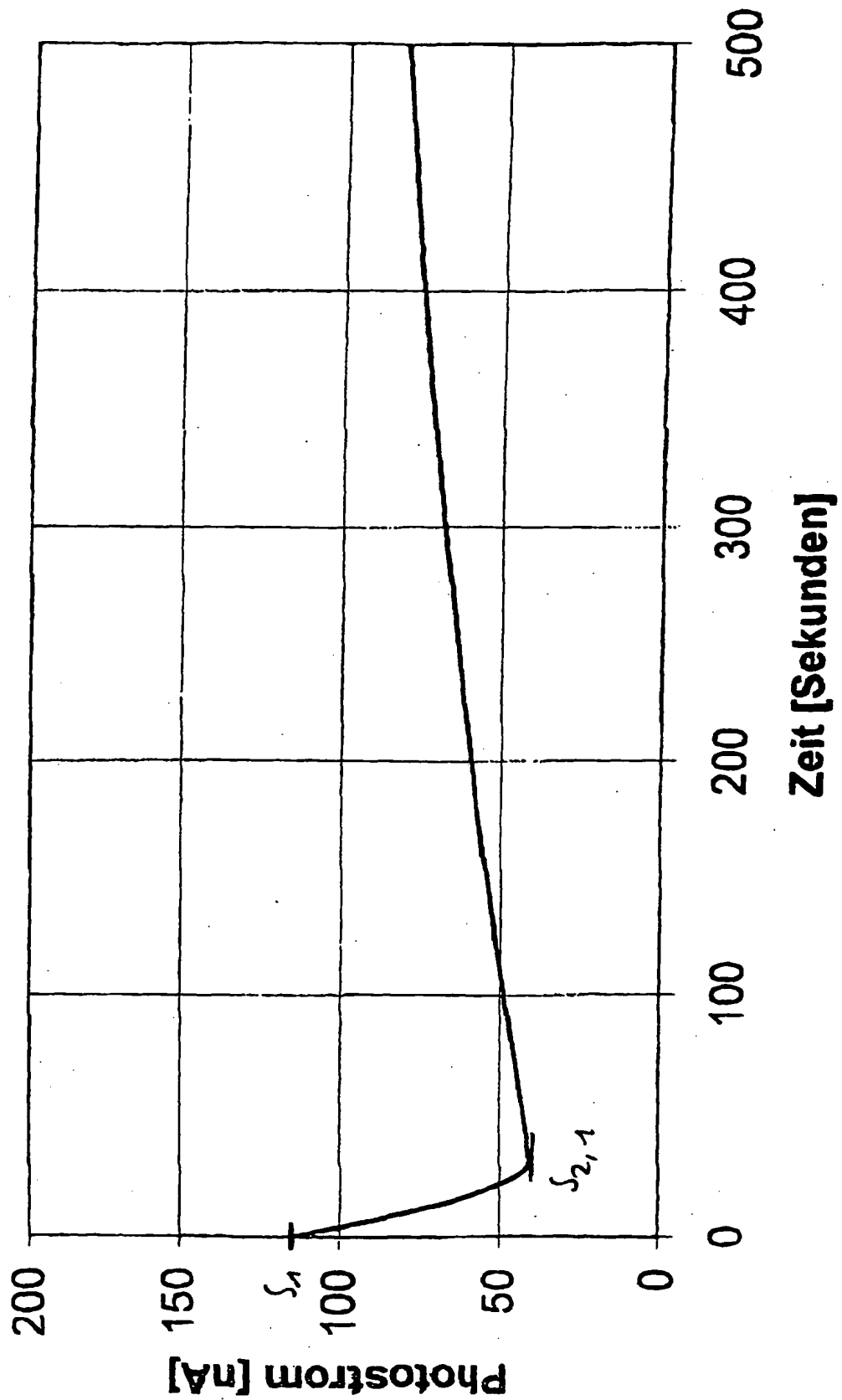
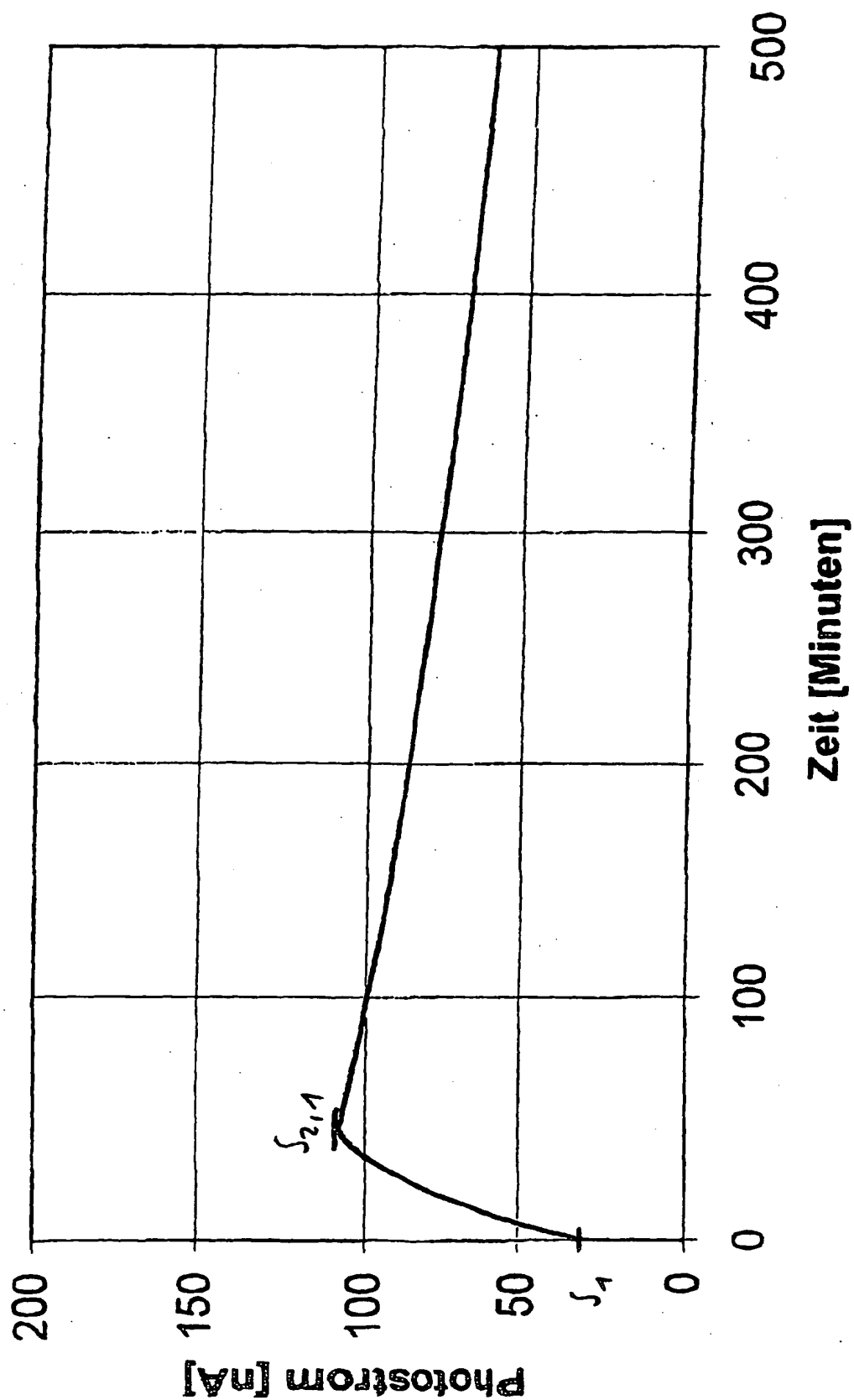


Fig. 14



(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. September 2003 (12.09.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2003/075098 A3

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G03F 7/20,**
B08B 7/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/002372

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. März 2003 (07.03.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 09 493.4 7. März 2002 (07.03.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **CARL ZEISS SMT AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse
22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WEDOWSKI, Marco**

[DE/DE]; Otto-Schott-Str. 15, 73431 Aalen (DE). **STI-
ETZ, Frank** [DE/DE]; Isah-Hess-Weg 4/1, 73466 Lauch-
heim (DE). **MERTENS, Bas** [NL/NL]; Snelliusstraat 90,
NL-2517 RK Den Haag (NL). **KLEIN, Roman** [DE/DE];
Feuerbachstr. 18, 12163 Berlin (DE).

(74) Anwälte: **FUCHS, Jürgen, H.** usw.; Söhnleinstr. 8, 65201
Wiesbaden (DE).

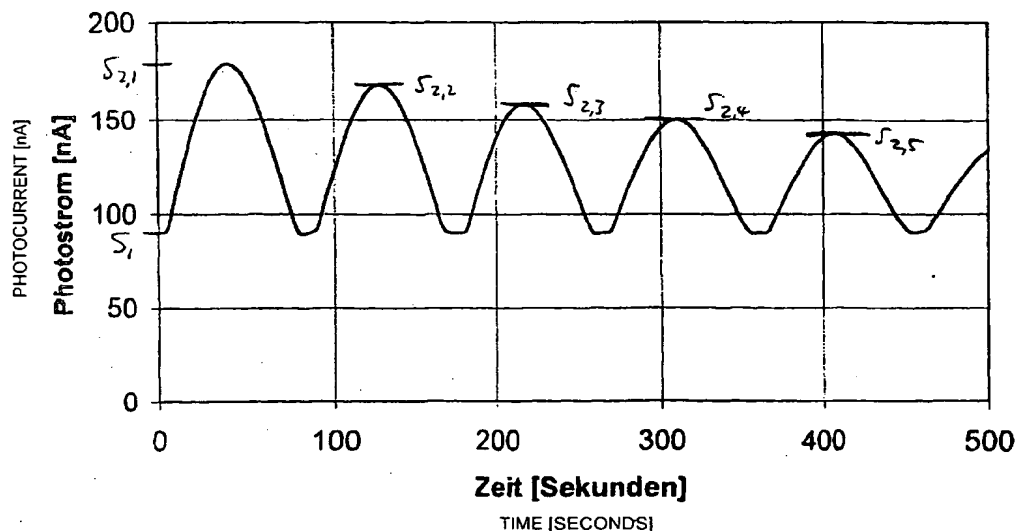
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PREVENTION OF CONTAMINATION OF OPTICAL ELEMENTS AND CLEANING SAID ELEMENTS

(54) Bezeichnung: VERMEIDUNG VON KONTAMINATION AUF OPTISCHEN ELEMENTEN UND REINIGUNG DIESER
ELEMENTE



(57) Abstract: The invention relates to a method for preventing contamination on the surfaces of optical elements comprising a multi-layer system, during the exposure thereof to radiation at signal wave lengths in an evacuated closed system comprising a residual gas atmosphere, whereby the photocurrent generated by means of photo emission from the radiated surface of the multi-layer system is measured. The photocurrent is used to regulate the gas composition of the residual gas. The gas composition is altered according to at least one lower and one upper threshold value of the photocurrent. The invention also relates to a device for regulating the contamination on the surface of at least one optical element during exposure and an EUV-lithographic device and a method for cleaning the surfaces of the optical elements contaminated by carbon.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2003/075098 A3



eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen
Recherchenberichts:

19. Februar 2004

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Vermeidung von Kontamination auf Oberflächen optischer, ein Vielschichtsystem aufweisender Elemente während ihrer Bestrahlung mit EUV-Strahlung bei Betriebswellenlängen in einem evakuierten, eine Restgasatmosphäre aufweisenden geschlossenen System beschrieben, bei dem der durch Photoemission aus der bestrahlten Oberfläche des Vielschichtsystems erzeugte Photostrom gemessen wird. Der Photostrom wird zur Regelung der Gaszusammensetzung des Restgases eingesetzt, wobei die Gaszusammensetzung in Abhängigkeit von mindestens einem unteren und einem oberen Schwellenwert des Photostroms verändert wird. Es wird auch eine Vorrichtung zur Regelung der Kontamination auf der Oberfläche mindestens eines optischen Elementes während der Bestrahlung sowie eine EUV-Lithographievorrichtung und ein Verfahren zur Reinigung von mit Kohlenstoff kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen beschrieben.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/02372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G03F7/20 B08B7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G03F 621K H01L B08B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 987 601 A (NIPPON KOGAKU KK) 22 March 2000 (2000-03-22) cited in the application paragraph '0083! - paragraph '0095! column 16, line 35 - line 38 figure	14-20
A	---	1,21
	-/---	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 December 2003

Date of mailing of the international search report

17/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Heryet, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/02372

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 15, 6 April 2001 (2001-04-06) -& JP 2000 346817 A (NIKON CORP), 15 December 2000 (2000-12-15) the whole document	14-20
A	-& US 6 545 272 B1 (KONDO HIROYUKI) 8 April 2003 (2003-04-08) column 9, line 46 -column 13, line 63 column 15, line 20 -column 16, line 24 figures 1-5	1,21
A	MEILING H ET AL: "Prevention of MoSi multilayer reflection loss in EUVL tools" SOFT X-RAY AND EUV IMAGING SYSTEMS II, SAN DIEGO, CA, USA, 31 JULY-1 AUG. 2001, vol. 4506, pages 93-104, XP008025582 Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2001, SPIE-Int. Soc. Opt. Eng, USA ISSN: 0277-786X abstract	1,14,15, 21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/02372

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 0987601	A	22-03-2000	JP	2000100685 A		07-04-2000
			EP	0987601 A2		22-03-2000
JP 2000346817	A	15-12-2000	US	6545272 B1		08-04-2003

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/02372

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G03F7/20 B08B7/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G03F 621K H01L B08B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfsloß gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 987 601 A (NIPPON KOGAKU KK) 22. März 2000 (2000-03-22) in der Anmeldung erwähnt Absatz '0083! - Absatz '0095! Spalte 16, Zeile 35 - Zeile 38 Abbildung	14-20
A	— -/--	1,21

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

***O** Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist.

***X' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden**

*) Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderschaftlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

*& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Dezember 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/12/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Her yet, C

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 15, 6. April 2001 (2001-04-06) -& JP 2000 346817 A (NIKON CORP), 15. Dezember 2000 (2000-12-15) das ganze Dokument	14-20
A	-& US 6 545 272 B1 (KONDO HIROYUKI) 8. April 2003 (2003-04-08) Spalte 9, Zeile 46 -Spalte 13, Zeile 63 Spalte 15, Zeile 20 -Spalte 16, Zeile 24 Abbildungen 1-5	1,21
A	MEILING H ET AL: "Prevention of MoSi multilayer reflection loss in EUVL tools". SOFT X-RAY AND EUV IMAGING SYSTEMS II, SAN DIEGO, CA, USA, 31 JULY-1 AUG. 2001, Bd. 4506, Seiten 93-104, XP008025582 Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2001, SPIE-Int. Soc. Opt. Eng, USA ISSN: 0277-786X Zusammenfassung	1,14,15, 21

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationale Aktenzeichen

PCT/EP 03/02372

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0987601	A	22-03-2000	JP	2000100685 A	07-04-2000
			EP	0987601 A2	22-03-2000
JP 2000346817	A	15-12-2000	US	6545272 B1	08-04-2003

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie) (Juli 1992)